NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. CHARLES BARROIS

ANCIEN PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE

LAURÉAT DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

PARIS

LE BIGOT FRÈRES, IMPRIMEURS

30, rue Joubert

—

AVRIL 1904

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. Charles BARROIS

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. Charles BARROIS

ANCIEN PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE

LAURÉAT DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES



PARIS

LE BIGOT FRÈRES, IMPRIMEURS

30, rue Joubert

AVRIL 1904

TITRES ET FONCTIONS

Docteur ès sciences naturelles (1876).

Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

Collaborateur principal au Service de la Carte géologique de France (1876).

Envoyé en mission scientifique par l'Académie des Sciences (Mission d'Andalousie, part du prix Vaillant, 1886).

Envoyé en mission scientifique aux États-Unis et au Canada par le Ministère de l'instruction publique (1878-79).

Président de la Réunion extraordinaire de la Société géologique de France en 1886.

Vice-président de la Société française de minéralogie (1890).

Vice-président des Congrès géologiques internationaux de Vienne (1903), de Washington (1891), de St-Pétersbourg (1897).

Président de la Société géologique de France (1897).

Secrétaire général du Congrès géologique international de Paris (1900).

DISTINCTIONS HONORIFIQUES

Lauréat du prix Viquesnel (1877) et du prix Fontannes (1891) de la Société géologique de France.

Lauréat de la médaille Bigsby (1881) et de la médaille Wollaston (1901) de la Société géologique de Londres.

Lauréat de l'Académie des Sciences : Prix Delesse (1891), part du Prix Vaillant (1886).

Membre correspondant de la Société Nationale d'Agriculture de France (1898). Membre honoraire de la Société des Agriculteurs du Nord (1879), de la Société linnéenne de Normandie (1892), Membre correspondant de la Société Académique de Boulogne-sur-Mer (1875), de la Société de Borda à Dax (1880), de la Société d'Études Scientifiques d'Angers (1876).

Membre étranger (1891) de la Société Géologique de Londres, Membre honoraire des Sociétés Géologiques d'Edimbourg (1893), de Norwich (1878), des Cornouailles (1888), de l'Association des Géologues de Londres (1900), de la Société philosophique du Yorkshire (1884).

Membre correspondant de l'Académie Royale des Sciences de Bavière (1898), de la Société Royale des Sciences de Gottingen (1901).

Membre correspondant de l'Académie Impériale des Sciences de Saint-Pétersbourg (1897), Membre honoraire de la Société Impériale Minéralogique de Saint-Pétersbourg (1897).

Membre honoraire de l'Académie Royale des Sciences de Christiania (1899).

Membre correspondant du Service Géologique Impérial et Royal de l'Autriche (1875).

Membre honoraire de la Société Géologique de Belgique (1878), de la Société Belge de géologie, paléontologie et hydrologie (1887).

Membre correspondant de l'Académie Royale des Sciences de Madrid (1876), de l'Académie Royale des Sciences de Barcelone (1894).

Membre correspondant de l'Académie des Sciences naturelles de Philadelphie (1878), Membre honoraire de l'Académie des Sciences de New-York (1889).

INTRODUCTION

Le désir de relier entre eux des sujets variés et de montrer l'unité de mes travaux, m'engage à exposer en débutant les idées directrices qui m'ont guidé, et le but que je me suis proposé dans mes études.

J'ai essayé d'apporter quelque lumière sur les origines et les transformations successives des terrains, à l'aide de documents originaux recueillis en place. Pour cela, j'ai cherché à distinguer la suite et l'ordre des assises dans des contrées diverses, et j'ai attaché à chacune des périodes reconnues les faits principaux qui en dépendent : déplacement des terres et des mers, répartition et transformation des faunes fossiles, structure intime et mode de formation des roches, explication de l'architecture et de l'évolution des formes actuelles de la topographie. J'ai donc fait appel à la fois à la *pétrographie* et à la *paléontologie* pour comprendre la *stratigraphie* et expliquer la *tectonique* ; ces sciences se prêtent un mutuel appui, tout se tient, tout s'enchaîne dans le grand mouvement des temps géologiques.

Mes jours de travail se sont écoulés plus nombreux dans la campagne, que dans nos grands laboratoires ou parmi les collections de nos écoles : les rivages de la mer, les falaises de l'ouest de l'Europe, du nord de l'Irlande au sud de l'Espagne, les mille petites exploitations ouvertes, de l'Ardenne à la Bretagne, pour les besoins locaux, ont été mes champs d'étude habituels. Des années de marche, des années d'analyse, m'ont permis de dresser des cartes détaillées de diverses provinces de l'Angleterre, de l'Espagne et de la France ; dans notre pays, j'ai levé la carte géologique à l'échelle de 1/80.000 de vingt-un feuilles d'État-major, couvrant une surface de cinq départements français. Dans toute cette étendue, il n'est point une commune où je n'aie séjourné, diminuant ainsi, de hameau en hameau, la part de l'imagination dans ma reconstitution du passé, augmentant mes chances de ne trouver devant moi, à l'heure de la synthèse, que des faits positifs, des résultats d'observation directe.

Dès 1875, j'ai débuté par une description du Terrain Crétacé de l'Angleterre et de l'Irlande, et mes conclusions contrôlées par un grand nombre de savants anglais ont déjà subi l'épreuve du temps. L'ordre que j'ai établi parmi les zones ignorées, parmi les événements confus jusqu'alors, de

l'histoire de cette période en Angleterre, est unanimement suivi ; les ondulations que j'ai indiquées dans ces couches, guident aujourd'hui les praticiens du pays dans les recherches des niveaux d'eau : la Société Géologique de Londres, à deux reprises déjà, a manifesté son estime pour ces travaux, en leur attribuant en 1881 sa « Médaille Bigsby » réservée aux « jeunes géologues d'avenir », et en 1901, sa « Médaille Wollaston », la plus haute distinction dont elle dispose.

De Verneuil avait signalé à l'Académie en 1855 la richesse, en fossiles des âges les plus anciens, de la province des Asturies, en Espagne ; ses observations me décidèrent à entreprendre l'exploration d'un pays où les siècles primordiaux, si vides chez nous, semblaient si pleins d'une exubérante vie. J'y classai suivant l'ordre des temps les grandes manifestations du monde physique, pendant l'ère primaire tout entière, j'indiquai les relations des mers d'Espagne et de leurs belles faunes, avec celles des régions voisines mieux connues ; la description des premiers animaux de ces régions est venue ajouter son chaînon à ces enchaînements des êtres dont M. Albert Gaudry nous a appris la haute portée philosophique. L'étude des éléments composants et de la structure microscopique des roches, l'analyse des plissements de la Chaîne Cantabrique, l'abrégé que j'ai pu donner de son mécanisme d'ensemble, ont porté quelque lumière sur l'histoire paléozoïque moins connue des Pyrénées de France. Depuis lors, l'étude de nombreux fossiles de la Navarre, des Pyrénées et de la Catalogne est venue étendre nos conclusions sur les Pyrénées primaires.

Les connaissances acquises sur les faunes et les terrains primaires, au cours de voyages en Amérique, ont donné leur valeur aux idées que j'ai émises, sur les relations des fossiles et sur la tectonique comparée des rivages opposés de l'Atlantique.

C'est cependant en France, pour le Service de la Carte Géologique, que j'ai exécuté les travaux les plus considérables par leur importance et par leur portée. Mon principal objet a été d'y faire considérer dans l'ordre des temps la succession des étages et la formation des roches, sous l'action des divers agents physiques, — leurs variations, régies par les déplacements des mers anciennes ou par les lois qui ont présidé à la localisation des roches intrusives, — les grands changements métamorphiques et tectoniques des terrains, — la succession de la vie et la suite même de la création.

Mes mémoires sur la pétrographie bretonne, dont je présenterai d'abord les résultats, reposent sur les méthodes inaugurées par MM. Fouqué et

Michel Lévy, et comprennent des résultats sur la structure microscopique des roches, ainsi que des conclusions positives sur leur genèse.

J'ai découvert et reconstitué les plus anciens volcans de la France (Menez-Hom, Trégorrois), montrant que dès les époques précambriennes, et successivement pendant les époques cambrienne, silurienne, carbonifère, des appareils volcaniques émettaient des projections et des coulées de laves dans l'ouest de notre pays.

L'exploration rationnelle des massifs granitiques a fourni des résultats inattendus. Les notions reçues sur l'âge des granites français ont été profondément modifiées et avec elles l'histoire de toutes les roches anciennes. J'ai prouvé que la plupart des roches granitiques, loin d'être primitives en Bretagne, comme on l'enseignait, se sont élevées lentement dans des plis du sol à l'époque carbonifère, et de telle façon que leur structure et leur composition aient été fonction des conditions différentes de profondeur et de pression qui présidaient à leur consolidation. Ainsi, certains gneiss de Bretagne, réputés fondamentaux, et dont le mode de formation était énigmatique, sont des roches intrusives, d'âge carbonifère. J'ai également signalé dès 1885, antérieurement à nos théories modernes sur la différenciation, des exemples de roches granitiques diverses, issues d'un même magma, à Rostrenen, et qui doivent leurs différences aux conditions physiques de leur encaissement.

J'ai montré, d'accord avec M. Michel-Lévy, la tranquille mise en place des granites et l'assimilation des salbandes, prouvant en outre l'assimilation inégale des diverses salbandes (schiste, quarzite, phtanite), par les différentes roches intrusives. J'ai apporté des faits précis à l'appui de la théorie de M. Michel-Lévy sur la genèse des roches cristallophylliennes, en établissant l'identité de certains produits du métamorphisme de contact avec ceux du métamorphisme général, et par suite, l'unité des phénomènes de gneissification et de granitisation, qui ne diffèrent que par le degré et non par l'essence. Longtemps combattues, ces vues ne diffèrent plus de celles qui sont actuellement suivies dans les dernières publications des Services géologiques de la Hesse et de la Saxe.

L'étude analytique des roches cristallines de Bretagne m'a amené à interpréter leur variété, en l'expliquant par les circonstances de leur formation. Elles sont, en effet, la résultante de plusieurs facteurs dont le partage a pu être tenté et a permis de distinguer parmi ces roches, les différences dues à leur âge, de celles qui sont liées à la répartition topo-

graphique de leurs réservoirs, ou à leur gisement stratigraphique en masses profondes, en filons ou en nappes superficielles. L'étude des filons de Kersanton, particulièrement instructive, a montré qu'ils se sont consolidés lentement, sous l'influence de phénomènes pneumatolitiques longuement poursuivis. Il semble bien ici, conformément à la théorie, que la circulation des minéralisateurs ait séparé du magma ferromagnésien du Kersanton l'excès d'alcalis, d'alumine et de silice, et l'ait entraîné pour former les pegmatites et aplites kersantiques.

Mes études paléontologiques ont porté sur la presque totalité des classes d'Invertébrés, et ont ainsi fourni des notions nouvelles sur les faunes anciennes, leurs caractères, le développement phylogénique de diverses formes, et leur répartition géographique. J'ai consacré cinquante planches à représenter les genres et les espèces trouvés par moi, dans les Terrains crétacé, carbonifère, dévonien, silurien et cambrien. Ces descriptions ne m'ont pas seulement permis de donner des diagnoses, ou de mieux caractériser les terrains qui faisaient l'objet de mes études, mais j'ai pu souvent arriver à des considérations phylogéniques (Coralliaires, Graptolites, Lamellibranches) ; j'ai montré entre les êtres de ces époques reculées des enchaînements inaperçus, et donné des indications sur leur distribution, de l'Europe à l'Amérique. Je me suis particulièrement attaché à l'étude des gisements fossilifères nouveaux ou problématiques ; et ai ainsi modifié et complété l'état des connaissances sur la faune primordiale d'Espagne, la faune armoricaine, les niveaux graptolitiques, la faune de l'Hercynien et des faciès coralligènes du Dévonien, les faunes à goniatites de la rade de Brest et du marbre griotte, les faunes à fusulines des Asturies.

Ces recherches sur les fossiles, les roches et les terrains, m'ont fourni des données précises pour écrire à nouveau l'histoire de la Bretagne. Ce vieux sol granitique, considéré par les géologues comme plus ancien, comme la base de toutes choses et comme constituant l'ossature de la France, ne nous offre réellement que les ruines de montagnes carbonifères.

Dans ces temps, encore assez lointains, deux plis de la croûte terrestre, à peu près parallèles entre eux et convergeant insensiblement vers l'Ouest, déterminèrent dans les eaux carbonifères, la formation d'un coin saillant, qui fut la Bretagne. Entre ces deux voûtes de roches granitiques et métamorphiques, s'étendait de la rade de Brest vers Paris, une longue dépression intérieure, accidentée d'une série compliquée de couches paléozoïques plissées et redressées. Leur ensemble formait une chaîne montagneuse

alpine, dont les cimes, comme nous l'apprennent les coupes, jalonnaient la crête septentrionale. Mais tout cet édifice a disparu, depuis l'époque carbonifère, détruit par l'action combinée du temps et des agents atmosphériques : aujourd'hui la surface de la Bretagne est aplanie, ses sommets sont abattus, et les trains circulent sur l'emplacement de ses monts nivelés. Une tranche horizontale de terrain, épaisse de plusieurs mille mètres, a été enlevée, montrant à nu dans les landes bretonnes les racines de cet ancien système montagneux, et le géologue qui regarde à ses pieds, voit les fondements cachés des montagnes.

La considération de ces fondements montagneux n'est pas seulement lumineuse pour l'histoire de la Bretagne, en ce qu'elle montre le plan de ses reliefs, elle donne en outre l'image des racines souterraines des chaînes jeunes comme les Alpes, et est pleine d'enseignements concernant le mécanisme profond de la formation des montagnes. Elle éclaire enfin la genèse des gneiss et des roches granitiques anciennes, consolidées dans les profondeurs et étalées ici, au grand jour.

Sur le plateau uniforme de la Bretagne actuelle, on ne trouve plus les témoins des montagnes disparues, qu'ensevelis dans des tranchées faillées, dans des fosses synclinales linéaires, étroites, serrées et profondes, sous forme d'esquilles verticales, figurées sur mes cartes, et restaurées sur mes coupes. Sur ces profils, les reploiements des couches des montagnes aujourd'hui disparues de l'Armorique ont été reconstituées d'une façon logique, et leurs déformations, malgré leur complexité, rattachées à un système simple de failles longitudinales, dépendant du ridement d'ensemble et de la contraction de cette portion de la croûte.

La comparaison des lignes tectoniques de la Bretagne avec celles de la Chaîne Cantabrique m'a révélé un plan uniforme de structure pour ces deux grandes presqu'îles de notre continent, et ce plan explique la figure même des contours occidentaux de l'Europe, en même temps qu'il éclaire l'histoire ancienne de la dépression atlantique, et en fait remonter le tracé à l'époque carbonifère, comme M. Marcel Bertrand en avait eu l'intuition.

Mais le stratigraphe ne se borne pas à déplacer les océans, à ressusciter les volcans, à relever les chaînes montagneuses disparues, pour dévoiler l'œuvre du temps sur le globe, expliquer la géographie et les causes des déplacements des faunes ; son plus noble travail et sa plus belle conquête ont été de découvrir quelques-unes des lois qui ont présidé à la formation du sol ; ces lois basées sur l'observation lui permettent aujourd'hui de

prévoir, de prédire l'existence et la position de terrains inabordables, et souvent les travaux de l'industrie minière sont venus après coup, confirmer ses inductions.

C'est au reste, la haute leçon que m'avait donnée le savant éminent, qui fut mon maître et qui reste mon modèle, M. J. Gosselet, en révélant le mécanisme du ridement des Ardennes, en reconstruisant ce massif montagneux disparu, et en le prolongeant par la pensée, sous le manteau fertile des morts-terrains des Flandres, comme une chaîne souterraine, connue de lui, quoique invisible. Les sondages qui ont été vérifiés à des profondeurs de plus de 1200 mètres, la justesse de ses prévisions ont rendu un hommage éclatant à la valeur de ses méthodes stratigraphiques. Les élèves, qui comme moi, l'ont suivi dans le Nord de la France, ont aussi apporté leur témoignage, soit en retrouvant la faune du Silurien belge dans le Pas-de-Calais à 1.000 mètres sous terre, ou en y reconnaissant les poissons du Vieux-grès-rouge anglais, aux points où la théorie avait indiqué leur présence.

De pareils exemples et une longue communauté d'efforts me faisaient une obligation de renoncer pour mes travaux à la grande publicité des recueils savants de Paris : c'est dans les Annales de la Société Géologique du Nord, que nous avons fondée ensemble il y à 33 ans, sous sa direction, qu'ils ont paru pour la plupart. Ils ont la forme de notes préliminaires, et leur révision fournira une description d'ensemble de la Bretagne, destinée au Service de la Carte de France.

Ces travaux ont été récompensés par l'Académie des Sciences, qui leur a accordé en 1891 le prix Delesse, après avoir donné une part du prix Vaillant (1886) au membre de la mission d'Andalousie ; la Société Géologique de France les a jugés successivement dignes du prix Viquesnel 1877 et du prix Fontannes 1891. Enfin, je fus appelé en 1898 par le choix des géologues français, à organiser à Paris, comme Secrétaire-général, le VIII[e] Congrès Géologique International, qui s'ouvrit en 1900 sous la présidence de M. Albert Gaudry. C'est dans ce centre, que j'ai publié avec la collaboration de tous les géologues français, les *Compte-rendus* de la session et ce *Livret-guide* des excursions en France, qui offrit à nos collègues étrangers une description géologique de la France entière.

LISTE DES PUBLICATIONS

NOTES ET MÉMOIRES

1873

1. Sur le Terrain crétacé du Boulonnais entre Saint-Omer et Boulogne; *Mém. Soc. Sciences de Lille*, 3e sér., t. XI, p. 25.

1874

2. Sur la faune marine du Terrain houiller du bassin septentrional de la France; *Bull. Soc. Géol. France*, t. II, p. 223.
3. L'étage de la gaize dans le Boulonnais; *Bull. Soc. Géol. France*, t. II, p. 226.
4. Compte rendu (comme secrétaire) de l'excursion de la Société géologique de France à Mons et à Avesnes; *Bull. Soc. Géol. France*, t. II, p. 533.
5. Catalogue des poissons du Terrain crétacé du Nord de la France; *Bull. scient. du Nord*, t. V, p. 123.

6. Sur le Byssacanthus Gosseleti, poisson dévonien de l'Ardenne; *A. F. A. S.* Session d'août, p. 1.
7. Sur le Gault et sur les couches entre lesquelles il est compris dans le bassin de Paris, du Pas-de-Calais à la Bourgogne; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. II, p. 1.

1875

8. Description géologique de la craie de l'Ile de Wight; *Ann. Sc. Nat. Paris*, t. XIII, p. 1, 1 pl.
9. Sur l'Aachénien et la limite entre le Jurassique et le Crétacé dans l'Aisne et les Ardennes; *Bull. Soc. Géol. France*, t. III, p. 257.
10. Catalogue des Reptiles du Terrain crétacé du Nord du bassin de Paris; *Bull. Scient. du Nord*, t. VI, p. 1.
11. Sur les ondulations de la craie dans le sud de l'Angleterre; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. II, p. 85.
12. Sur la zone à Belemnites plenus, étude du Cénomanien et du Turonien de l'est du bassin de Paris; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. II, p. 145.
13. Sur l'âge des couches de Folkestone du Lower-greensand d'Angleterre; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 3, p. 84.
14. Sur l'âge des couches de Blackdown dans le Devonshire; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 3, p. 1.
15. Sur le Terrain crétacé de l'Ile de Wight; *Bull. Soc. Géol. France*, t. 2, p. 429.
16. Le Gault du bassin de Paris; *Bull. Soc. Géol. France*, t. 3, p. 707.

1876

17. La dénudation des Wealds et du Pas-de-Calais; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 3, p. 75.
18. Sur l'Eocène supérieur des Flandres; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 3, p. 84.
19. Sur l'âge des couches de Totternhoe dans le Bedfordshire; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 3, p. 145.

20. Recherches sur le Terrain crétaeé supérieur de l'Angleterre et de l'Irlande ; *Paris, Thèse inaugurale pour le Doctorat*, 3 pl.

21. Sur la craie de l'Irlande ; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 3, p. 189.

22. Embryologie de quelques éponges de la Manche ; *Ann. Sc. Nat. Paris*, t. 3, p. 1. 5 pl. *Thèse pour le Doctorat ès-sciences naturelles.*

23. Sur le Terrain silurien de l'ouest de la Bretagne ; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 4, p. 38.

24. Sur le Terrain dévonien de la rade de Brest ; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 4, p. 59.

1877

25. Les minerais de fer de la Bretagne ; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 4, p. 130.

26. Sur les traces de l'époque glaciaire en quelques points des côtes de la Bretagne ; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 4, p. 186, 1 pl.

27. Relation d'un voyage géologique en Espagne ; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 4, p. 292. (Reproduit en espagnol dans le *Boletin del Mapa Geologico de España*).

28. Description d'espèces nouvelles de mollusques crétacés de l'est du bassin de Paris (en collaboration avec M. de Guerne) ; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 5, p. 42, 3 pl.

29. Sur le Terrain dévonien de la province de Léon (Espagne) ; *Ass. Fr. Av. Sci. Le Havre* (Reproduit dans le *Boletin del Mapa Geologico de España*).

1878

30. Les sables de Sissonne (Aisne) et les alluvions de la vallée de la Souche ; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. V, p. 84.

31. Sur les alluvions de la rivière d'Aisne ; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. V, p. 110.

32. Compte-rendu de l'Excursion géologique dans les Ardennes ; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. V, p. 140.

33. Sur un gabbro de la presqu'île de Crozon ; *Bull. Soc. Géol. France*, t. VI, p. 178.

34. Mémoire sur le Terrain crétacé des Ardennes et des régions voisines; *Ann. Soc. Géol. Nord.* t. V. p. 227.

1879

35. A. geological sketch of the Boulonnais; *Proceedings of the Geol. Assoc. London*, t. VI, p. 1.
36. Excursion of the Geologist's Association to Boulonnais; *Proceedings of the Geol. Assoc.*, t. VI, p. 39.
37. Mémoire sur le Terrain crétacé du Bassin d'Oviédo (Espagne); *Ann. Sci. Nat. Paris*, t. X, n° 1, 1 pl. (Traduit en espagnol dans le Bulletin de la carte géologique d'Espagne).
38. Relation d'une mission scientifique aux États-Unis, 1878-79; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. VI, p. 228. (Discours présidentiel).
39. Le marbre griotte des Pyrénées; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. VI, p. 270). (Traduit en espagnol dans le Bulletin de la carte géologique d'Espagne).
40. Sur l'étendue du système tertiaire inférieur dans les Ardennes et sur les argiles à silex; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. VI, p. 340.
41. Sur la faune troisième silurienne du Finistère; *A. F. A. S. Montpellier*.
42. Sur quelques espèces nouvelles ou peu connues du Terrain crétacé du Nord de la France; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. VI, p. 449, 3 pl.
43. Sur les alluvions de la Serre; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. VII, p. 82.
44. Notes on the Rev. J. F. Blake's paper on the Chalk of Yorkshire, *Proceed. Geol. Assoc. London*, vol. 6, p. 165.

1880

45. Sur la faune quaternaire de Sangatte; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. VII, p. 181.
46. Sur l'étage Turonien de l'Irlande; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. VII, p. 173.
47. Sur les formations quaternaires et actuelles des côtes du Boulonnais; *Bull. Soc. Géol. France*, t. VIII. p. 552.

48. Sur le Terrain silurien supérieur de la presqu'île de Crozon; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. VII, p. 258.

49. Sobre las Kersantitas recientes de Asturias; *Chronica Cientifica de Barcelona*, t. III, p. 401.

50. Sur des fossiles de Cathervieille (Haute-Garonne); *Bull. Soc. Géol. France*, t. VIII, p. 256, 1 pl.

1881

51. Légende de la feuille de Rethel.

52. Sur le calcaire carbonifère du nord de l'Espagne; *A. F. A. S.* Avril, p. 516.

53. Sur le Terrain silurien supérieur de la Haute-Garonne; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. IX, p. 50.

54. Observations sur la thèse de M. C. W. Cross, sur les roches de Bretagne : *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. VIII, p. 90.

1882

55. Recherches sur les terrains anciens des Asturies de la Galice; *Mém. Soc. Géol. Nord*, ouvrage de 630 p., accompagné de 20 pl.

56. Sur les plages soulevées de la côte occidentale du Finistère; *Annal. Soc. Géol. Nord*, t. IX, p. 239.

1883

57. Aperçu de la constitution géologique de la région qui s'étend de Lorient à Penmarch; *Annal. Soc. Géol. Nord*, t. X, p. 56.

58. Sur les recherches du Dr J. Lehmann dans la région granulitique de la Saxe; *Annal. Soc. Géol. Nord*, t. X, p. 173.

59. Sur les faunes siluriennes de la Haute-Garonne; *Annal. Soc. Géol, Nord*, t. X, p. 151, 2 pl.

60. Sur les amphibolites à glaucophane de l'île de Groix: *Bull. Soc. minéral. de France*, t. VI, p. 289.
61. Sur les schistes métamorphiques de l'île de Groix; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XI, p. 18.
62. Sur les Dictyospongidæ des Psammites du Condroz; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XI, p. 80, 1 pl.

1884

63. Sur les grès métamorphiques du massif granitique du Guéméné; *Annal. Soc. géol. Nord*, t. XI, p. 103.
64. Observations sur la constitution géologique de la Bretagne; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XI, p. 87.
65. Sur le chloritoïde du Morbihan; *Bull. Soc. Minéral, France*, t. VII, p. 37.
66. Observation à propos d'une note de M. J.-W. Judd sur les puits profonds de Londres; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XI, p. 141.
67. Sur les ardoises à Nereites du bourg d'Oueil (Haute-Garonne); *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XI, p. 219.
68. Sur l'étage aptien de la Haute-Garonne; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XI, p. 227.
69. Nouvelles observations sur la constitution géologique de la Bretagne; *Ann. Soc Géol. Nord*, t. XI, p. 278.

1885

70. Mémoire sur le granite de Rostrenen, ses apophyses et ses contacts; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XII, p. 1.
71. Sur la constitution géologique de la Sierra-Nevada, des Alpujarras et de la Sierra de Almijara (Andalousie). (En collaboration avec M. Offret.) *Comptes-rendus Ac. Sc.*, 20 avril.
72. Sur la constitution stratigraphique des monts du Ménez; *Comptes-rendus Ac. Sc.*, décembre 1885.
73. Légende de la feuille de Granville.

74. Légende de la feuille de Pont-l'Abbé.
75. Légende de la feuille de Lorient.
76. Le Calcaire à polypiers de Cabrières (Hérault); *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XIII, p. 74, 1 pl.
77. Sur la faune de Hount-de-Ver (Haute-Garonne); *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XIII, p. 124, 2 pl.
78. Sur le calcaire de Chaudefonds (Maine-et-Loire); *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XIII, p. 170, 2 pl.

1886

79. Constitution géologique de la rade de Brest; *Bull. Soc. Géol. France*, t. XIV, p. 678, 3 pl.
80. Sur le massif granitique du Huelgoat; *Bull. Soc. Géol. France*, t. XIV, p. 678, 1 pl.
81. Compte-rendu (comme Président) de l'excursion de la Société géologique de France dans le Finistère; *Bull. Soc. Géol. France*, t. XIV, p. 655.
82. Sur le Kerzanton de la rade de Brest; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XIV, p. 31.
83. Légende de la feuille de Châteaulin.
84. Sur la constitution géologique de la chaîne bétique. (En collaboration avec M. Offret.) *Comptes-rendus Ac. Sc.*, séances du 7 juin, 12 et 19 juillet 1886.
85. Sur la disposition des brèches calcaires des Alpujarras et leur ressemblance avec les brèches houillères du N. de la France; *Comptes-rendus Ac. Sc.*, 9 août.
86. Aperçu de la constitution géologique du Finistère; *Guide Scient. de Morlaix*, t. III, p. 90.

1887

87. Les pyroxénites des îles du Morbihan; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XV, p. 69.
88. Notice préliminaire sur la faune d'Erbray; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XIV, p. 158.

89. Modifications et transformations des granulites du Morbihan; *Ann. Soc. Géol. du Nord*, t. XV, p. 1.

90. Sur les faunes siluriennes et dévoniennes de la Haute-Garonne, d'après les découvertes de M. M[ce] Gourdon; *A. F. A. S.*, *Toulouse.*

1888

91. Sur le Terrain dévonien de la Navarre; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XV, p. 112.

92. Sur l'existence du genre Oldhamia dans les Pyrénées; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XV, p. 154.

93. Sur les roches cristallines des environs de Lanmeur; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XV, p. 238.

94. Sur la constitution géologique de l'ouest de la Bretagne; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XVI, p. 1.

95. Mémoire sur la faune du Calcaire d'Erbray (Loire-Inférieure); *Mém. Soc. Géol. Nord*, ouvrage de 348 p., accompagné de 17 pl.

1889

96. Étude sur la constitution géologique du sud de l'Andalousie, de la Sierra Téjeda à la Sierra-Nevada (en collaboration avec M. Offret), mission d'Andalousie; *Mémoires des Savants étrangers*, t. XXX.

97. Légende de la feuille de Redon (en collaboration avec M. Bochet).

98. Sur l'existence du Terrain dévonien supérieur à Rostellec (Finistère); *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XVI, p. 132.

99. Notice pour le panneau de la Bretagne, Exposition de 1889. *Notices sur les modèles et dessins relatifs aux travaux des Ponts-et-Chaussées et des Mines, Exposition de 1889.*

1890

100. Sur les éruptions diabasiques siluriennes du Menez-Hom; *Bull. des services de la Carte géol.*, n° 7, 1 pl.

101. Légende de la feuille de Vannes.

102. Légende de la feuille de Pontivy.

1891

103. Légende de la feuille de Quimper.

104. Sur le Terrain silurien des environs de Barcelone, *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XIX, p. 63 (*Traduit dans le Bulletin de la carte géologique d'Espagne*).

105. Sur la faune du grès armoricain; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XIX, p. 134, 5 pl.

1892

106. Mémoire sur la distribution des Graptolites en France, et leur rôle dans la classification du Terrain silurien; *Ann. Soc. Géol. du Nord*, t. XX, p. 75.

107. Sur le Terrain dévonien de la Catalogne; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XX, p. 61.

108. Sur la présence de fossiles (Radiolaires) dans le Terrain azoïque de Bretagne; *Comptes-rendus Ac. Sc.*, août 1892.

1893

109. Légende de la feuille de Dinan.

110. Légende de la feuille de Plouguerneau.

111. Légende de la feuille de l'île d'Ouessant.

112. Sur le Rouvillograptus Richardsoni de Cabrières; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXI, p. 107.

1894

113. Le Bassin du Menez-Bélair (Côtes-du-Nord et Ille-et-Vilaine); *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXII, p. 181, 8 pl.

114. Comptes-rendus pour la campagne de 1893; *Bull. des serv. de la carte géol. de la France* (Bretagne, p. 30).

1895

115. Légende de la feuille de Rennes, en collaboration avec M. Lebesconte.
116. Sur les poudingues de Cesson; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXIII, p. 26.
117. Sur le Calcaire de St-Thurial; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXIII, p. 38.
118. Comptes-rendus pour la campagne de 1894; *Bull. des serv. de la Carte Géol. de la France* (Bretagne, p. 35).
119. De l'influence du sol sur la marche de la civilisation; Discours présidentiel à la Société des Sciences de Lille, décembre 1895.

1896

120. Légende de la feuille de Saint-Brieuc.
121. Légende de la feuille de Saint-Nazaire.
122. Légende de la feuille de Belle Isle.
123. Légende de la feuille de Quiberon.
124. Comptes-rendus pour la campagne de 1895; *Bull. des serv. de la Carte Géol. de la France* (Bretagne, p. 47).
125. Sur l'origine de la Grande-Brière; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXIII, p. 194.

1897

126. Sur les phénomènes littoraux actuels du Morbihan; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XIV, p. 182, 2 pl.
127. Comptes-rendus pour la campagne de 1896; *Bull. des serv. de la Carte Géol. de la France* (Bretagne, p. 41).
128. Répartition des îles méridionales de Bretagne et leurs relations avec les failles d'étirement; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXVI, p. 2, 1 pl.

129. Sur la structure des plis carbonifères de la Bretagne; *Bull. Soc. Géol. France*, t. XXV, p. 108.

130. Sur l'extension du limon quaternaire en Bretagne; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXVI, p. 33.

131. Des divisions géographiques de la Bretagne; *Annales de Géographie*, p. 23, 1 pl., Paris.

132. Des terrains cristallins de la Finlande, visités par le Congrès international. *Bull. Soc. Géol. France*, t. XXV, p. 724.

133. Des roches éruptives de la Crimée, visitées par le Congrès géologique international. *Bull. Soc. Géol. France*, t. XXV, p. 726.

1898

134. Découverte d'une faune silurienne à Liévin (Pas-de-Calais); *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXVII, p. 178.

135. Sur les Hexactinellides de la craie de Lezennes (Nord); *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXVII, p. 31.

136. Sur le gisement des roches cristallines anciennes du massif de Paimpol; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXVII, p. 22.

137. Nouvelles observations sur les faunes siluriennes des environs de Barcelone (Espagne); *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXVII, p. 180.

138. De l'extension du Silurien supérieur dans le Pas-de-Calais; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXVII, p. 212.

139. Des relations des mers dévoniennes de Bretagne avec celles des Ardennes; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXVII, p. 231.

140. Sur les roches cristallines du massif de Paimpol, 2me note; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXVII, p. 265.

141. Comptes-rendus pour la campagne de 1898 (Feuille de Tréguier); *Bull. des Serv. de la Carte géol. de la France* (massif armoricain, p. 37).

142. Les Goniatites du ravin de Coularic (Haute-Garonne); *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXVII, p. 260.

1899

143. A Sketeb of the Geology of Central Brittany. *Proceedings of the Geologist's Association, London*, t. XVI, p. 101.

144. Sur l'étage à Anareestes lateseptatus dans l'Ille-et-Vilaine; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXVIII. p. 116.

145. Comptes-rendus pour la campagne de 1899 (Feuille de Tréguier); *Bull. des Serv. de la Carte géol. de la France* (Massif armoricain, p. 10).

146. Sur un Eccoptocheile des sehistes à Amphions dę l'Hérault; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXVIII, p. 2.

1900

147. Guide géologique en Franee. — Livret-guide des exeursions en Franee du VIII[e] Congrès géologique international. — Volume orné de nombreuses planches, préparé et publié par le Secrétaire-général du Congrès, avec la eollaboration de tous les géologues français.

1901

148. Comptes-rendus de la session du VIII[e] Congrès géologique international en Franee, (2 vol., 1314 p., 22 pl.). — Ces volumes eontenant un Lexique Pétrographique de 300 p., en français, ont été préparés et traduits par les soins du Secrétaire-général, assisté de MM. Cayeux et Thevenin, secrétaires du Congrès.

1902

149 Sur le poudingue houiller de Nœux (Pas-de-Calais); *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXX, p. 26.

150. Les graptolites de la Catalogne; *Bull Soc. Géol. de France*, t. I, p. 637.

151. Sur les foraminifères des phtanites carbonifères du Boulonnais ; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXXI, p. 40.

152. Observations sur la géologie du canton de Crozon (Finistère): *Bull. Soc. Géol. France*, t. II, p. 51.

153 Beziehungen zwischen böhmischen und französischen Devon, *74e Versammlung d. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Carlsbad.*

154. Rapport au Directeur du Service. sur la carte de Bretagne au millionième; *Bull. des Serv. Carte Géol. de France*, n° 91, p. 25.

155. Sur la composition des filons de Kersanton; *Comptes-Rendus Ac. Sc.*, Avril 1902, p. 752.

1903

156. Légende de la feuille de Brest.

157. Le massif du Menez-Bré (Côtes-du-Nord); *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXXII, p. 193.

158. Comptes-rendus des travaux exécutés sur la feuille de Morlaix; *Bull. des Serv. Carte Géol. de France* (Massif armoricain, p. 15).

1904

159. Sur la présence de la zone à Phyllograptus dans l'Hérault ; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXXIII, p. 31.

160. Les Spirorbes du terrain houiller de Bruay (Pas-de-Calais) ; *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XXXIII, p. 22.

CARTES GÉOLOGIQUES

(CARTES DE L'ÉTAT-MAJOR AU 1/80.000)

publiées par le Service de la Carte géologique détaillée de la France.

1. Feuille de Rethel, 1880.
2. Feuille de Lorient, 1884.
3. Feuille de Granville, 1885.
4. Feuille de Pont-L'Abbé, 1885.
5. Feuille de Châteaulin, 1886.
6. Feuille de Vannes, 1890.
7. Feuille de Pontivy, 1890.
8. Feuille de Quimper, 1891.
9. Feuille de Dinan, 1893.
10. Feuille d'Ouessant, 1893.
11. Feuille de Plouguerneau, 1803.
12. Feuille de Saint-Brieuc, 1896.
13. Feuille de Saint-Nazaire, 1896.
14. Feuille de Belle-Ile, 1897.
15. Feuille de Quiberon, 1897.
16. Feuille de Brest, 1902.
17. Feuille de Redon (en collaboration avee M. Bochet), 1889.
18. Feuille de Rennes (en collaboration de M. Lebesconte), 1895.

19 à 21. Les minutes des trois feuilles de Morlaix, Lannion, Tréguier, sont actuellement terminées. Leur publication complètera le panneau de la Bretagne et permettra d'écrire, avec des documents nouveaux, l'histoire géologique de cette région naturelle.

ANALYSE DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. CHARLES BARROIS

Les diverses branches de la Géologie ont été l'objet de mes études. J'exposerai successivement les résultats acquis sur la composition des terrains *(stratigraphie)*, la description des animaux fossiles *(paléontologie)*, la composition des roches *(pétrographie)*, et la genèse de certaines régions naturelles *(tectonique)*.

§ I. — STRATIGRAPHIE

Les travaux de stratigraphie que j'ai effectués portent sur un grand nombre de terrains sédimentaires ou cristallins ; ils ont eu pour objet de fixer d'une manière précise la position relative des assises du globe, afin d'en induire la succession des phénomènes orogéniques et l'enchaînement de la vie à la surface de la terre. Ils ont ajouté des faits nouveaux à l'histoire des diverses périodes géologiques, quaternaire, tertiaire, secondaire et primaire (1). Les connaissances ainsi acquises m'ont parfois permis de prévoir et de signaler en plusieurs points l'existence de niveaux paléontologiques ignorés, ou de gisements utiles inconnus : j'ai de la sorte donné des preuves de la *certitude* et de la *rigueur des méthodes stratigraphiques* modernes.

(1) Les nombres entre crochets indiquent le renvoi aux numéros correspondants de la liste des mémoires publiés.

I. — Craie d'Angleterre

La craie forme des falaises blanches, continues sur près de la moitié de la côte anglaise ; elles sont connues de tous les voyageurs, et cependant la succession des étages n'y avait guère été étudiée en détail ; on avait généralement accepté l'idée que cette formation correspondait à un dépôt de mer très profonde, de faune abyssale, et par suite, uniforme. En prenant pour point de départ les travaux d'Hébert dans le bassin de Paris, j'ai essayé de suivre, pas à pas, les transformations des couches, en en recueillant méthodiquement les fossiles, et j'ai pu ainsi fixer l'histoire de la craie d'Angleterre.

Après avoir parcouru [8, 13, 14, 19, 20, 21] toutes les parties de ce pays formées par la craie, après avoir étendu mes excursions à l'Irlande et après avoir déterminé plus de 400 espèces fossiles différentes, recueillies en place, j'ai établi que la craie de la Grande-Bretagne comprenait au moins 12 zones paléontologiques distinctes et superposées. Ces zones présentent sur leur parcours des variations de composition, d'épaisseur et de faune indiquées pour la première fois par moi ; elles se sont donc déposées dans des conditions physiques et bathymétriques différentes. Ce travail, couronné par la Société géologique de Londres (Médaille Bigsby, en 1881), a depuis subi le contrôle d'un grand nombre de savants anglais (1). Les conclusions, étendues et développées en divers points, ont été confirmées de telle sorte, qu'en 1886, soit 12 ans plus tard, un spécialiste anglais (2) reproduisait, sous forme de tableaux et dans une publication spéciale, l'énumération des fossiles étudiés dans cet ouvrage : les déterminations paléontologiques avaient paru assez précises, pour être jugées acquises à la science anglaise. En 1893, M. W. F. Hume (3), du « Royal College of Science » de Londres, s'exprimait comme il suit, dans un mémoire d'ensemble sur le Crétacé

(1) *A. J. Jukes-Browne :* Geological Magazine, London. Vol. 4. 1877, p. 359.
(2) *E. Westlake :* Tabular Index to the upper cretaceous fossils of England and Ireland cited by Dr Ch. Barrois in his Recherches, etc. London 1888, 24 p. 4°.
(3) *W. F. Hume :* Researches on the upper cretaceous zones of the S. of England, London, Whitehead, Morris et Ce, 1893, p. 4.

du sud de l'Angleterre : « *Le service géologique officiel de la Grande-Bretagne a aujourd'hui si pleinement accepté le système de M. Barrois que nous n'avons pas à nous excuser ici de l'avoir pris comme base.* » Enfin, la Société géologique de Londres, en m'attribuant en 1901 une nouvelle distinction, sa *Médaille Wollaston*, la plus haute récompense dont elle dispose, a montré en quelle estime étaient tenus par les géologues anglais mes travaux sur leur pays.

II. — Bassin de Paris

Terrain tertiaire [18,40]. — On connaissait sur le flanc sud de l'Ardenne des lambeaux de sable dont l'âge et le mode de formation avaient été également discutés. J'ai montré leur continuité avec les sables et grès landéniens qui reposent sur les argiles à silex (Vervins) et prouvé ainsi la discordance de l'Éocène inférieur à l'est du Bassin de Paris sur les terrains crétacés, jurassiques et jusque sur le massif ardennais. Ces conclusions qui modifiaient nos notions sur l'étendue de la mer éocène de ce côté ont été adoptées par le Service de la carte géologique de Belgique.

Terrain crétacé [1, 3, 7, 9, 12, 16, 34]. — Une question générale s'attachait à la bordure crétacée orientale du Bassin de Paris : on y avait signalé des interruptions nombreuses dans la sédimentation (théorie des lacunes d'Hébert); j'ai fait voir qu'il n'en était pas ainsi : au contraire, cette région est plutôt remarquable par les faciès multiples qu'y affectent successivement les diverses couches, quant à leur composition et à leur faune.

L'étude des affleurements de ce terrain, du Pas-de-Calais à la Bourgogne, m'a permis de mettre en relief divers faits nouveaux. Tels sont, la transgression générale du Crétacé sur le Jurassique [1], — l'extension inattendue de l'Aptien au nord, jusque dans l'Aisne, où j'ai découvert une faune très particulière, nouvelle pour la France, mais rappelant celle de Farringdon, dans le Berkshire, — l'existence régionale de trois faunes albiennes successives et distinctes, fondée sur des listes de fossiles comprenant plusieurs centaines d'espèces, — la continuité des assises cénomaniennes, prouvée par leurs faunes, malgré leurs faciès très variables et leurs transgressions réciproques. Ainsi, l'énorme lentille de

gaize qui forme le massif de l'Argonne et lui donne son caractère, n'est qu'un accident siliceux d'un niveau spécial qui se continue à l'est du bassin, sous les faciès les plus divers, argiles, marnes, sables. Par contre, le massif de gaize du Rethélois, qui lui avait été assimilé, a fourni plusieurs faunes successives distinctes. Les assises cénomaniennes supérieures ont été réparties selon des divisions nouvelles et passent au niveau connu des mineurs sous le nom de tourtia : l'une des assises distinguées correspoud dans la région à une grande invasion transgressive de la mer crétacée.

La limite des étages cénomanien et turonien est marquée dans l'est par une faune de passage jusque-là méconnue ; c'est la zone à *Belemnites plenus* dont jai fait connaître la constanee et les variations. Divers niveaux turoniens que l'on croyait localisés en Touraine ont été reconnus dans l'Est, et dès 1878, la limite du Turonien et du Sénonien était placée sur le rivage ardennais, au-dessus de la craie de Vervins ; eette division correspond à celle adoptée depuis par le Service de la carte géologique de France.

Les étages turonien et sénonien présentent dans l'Est des caractères lithologiques assez constants ; la craie y est plus ou moins dolomitique, et la dolomitisation, oblique par rapport aux limites des étages, s'est effectuée, d'après mes observations, à diverses reprises et à des époques suceessives, suivant les mêmes verticales. La constatation de eette réeurrence d'apports magnésiens dans la série de couches horizontales du bassin de Paris acquiert une importance générale pour l'interprétation des montagnes dolomitiques plissées [34].

Terrain jurassique. — Les galets que l'on rencontre dans le Portlandien du Boulonnais [150] sont, les uns jurassiques, et accumulés par conséquent pendant une période de régression, les autres paléozoïques, et donnent des indications sur le parcours des ruissellements qui les ont amenés. Leur examen m'a fourni des preuves de leur origine locale, ainsi que des notions sur la distribution des terres paléozoïques, aujourd'hui couvertes par les sédiments crétacés. On y trouve des représentants de toutes les roches régionales, même des plus rares, comme les *phtanites à foraminifères carbonifères*, connus *in situ* en un seul point du Boulonnais. L'absence de tout débris caractéristique de l'Ardenne et du Brabant empêche d'admettre l'existence à cette époque du grand fleuve

jurassique, que l'on avait prétendu faire descendre du continent belge à Wimereux.

J'ai, en outre, étudié la succession et les variations des niveaux jurassiques dans l'Aisne et les Ardennes, du Lias à l'Oxfordien, montrant leur transgression sur les rivages de l'Ardenne paléozoïque [32, 51].

III. — Bassin d'Oviédo

L'examen détaillé du bassin crétacé d'Oviédo [37] a fait connaître une série d'assises très fossilifères, s'étendant de l'Urgonien au Sénonien. Leur comparaison avec celles du sud-ouest de la France a précisé nos connaissances sur l'extension des mers crétacées, les modifications de leurs faunes, et démontré la généralité des grandes transgressions de l'époque crétacée dans l'Ouest de l'Europe, de l'Écosse à la Chaîne Cantabrique.

IV. — Asturies et Galice

Le massif paléozoïque des Asturies et de la Galice [27, 29, 39, 49, 52, 55], au Nord-ouest de l'Espagne, avait été signalé à l'attention des savants par de Verneuil, qui y avait découvert des faunes anciennes d'une richesse extraordinaire. On savait que la faune primordiale y existait et que le Dévonien inférieur, très fossilifère, y paraissait associé à des combustibles.

L'intérêt exceptionnel de ces régions me décida à aller y relever en détail, l'ordre de superposition des couches: je reconnus l'existence de renversements, qui avaient enseveli le terrain houiller sous des terrains plus anciens, et pus alors classer ces terrains d'une façon systématique. Un premier résultat fut de fixer la position de la *faune primordiale* dans la série stratigraphique de l'Espagne septentrionale, et d'en décrire un certain nombre de formes nouvelles.

Au dessus de cette faune, cinq assises distinctes m'ont encore laissé retrouver les caractères paléontologiques du Silurien.

Le terrain dévonien a présenté huit divisions naturelles, dont les faunes ont été décrites et figurées ; la comparaison détaillée des assises superposées avec celles du centre de l'Europe montre que la série, aussi

complète dans son ensemble, se distingue principalement par ce fait que les récifs coralliens y ont prospéré plus tôt, présentant leur plus grand épanouissement dans le Dévonien inférieur, tandis qu'ils se sont développés plus tard au nord de la France (récifs givétiens et frasniens).

Le terrain carbonifère était réputé pour sa richesse en combustibles, sans que l'âge de ces houilles fût fixé : les plantes que j'ai pu y recueillir ont permis à M. Zeiller d'y reconnaître la suite complète des étages houillers distingués en Europe. La série des formations carbonifères marines offre également une extension considérable à l'Ouest des Pyrénées: elle débute par l'étage des célèbres *marbres griottes*, considérés jusque-là comme dévoniens. Mes conclusions relatives à ce dépôt pélagique du début de l'époque carbonifère, bien qu'attaquées à l'origine, ont cependant eu gain de cause, depuis que les observations de M. Seunes dans les Pyrénées, M. Holzapfel en Allemagne, M. Karpinsky en Russie, MM. Foord et Crick en Angleterre, ont permis de les généraliser. Le marbre griotte est surmonté par l'épaisse masse pélagique du *Calcaire des cañons*, représentant l'ensemble des étages de Tournay et de Visé ; on trouve au-dessus les *Calcaires de Leña* à Fusulines, dont la formation s'est poursuivie jusqu'à l'époque stéphanienne. Parmi les 108 espèces citées de ce niveau auparavant inconnu, 54 espèces nouvelles ou mal connues ont été figurées, et quelques-unes d'entre elles se retrouvent dans la division supérieure (C^3) du Calcaire carbonifère avec houille du Donetz et de l'Oural (Gshelien). Ainsi j'ai fait connaître dans les terrains houillers des Asturies des intercalations de calcaires marins, à divers niveaux, du Culm au Stéphanien.

V. — États-Unis

Envoyé aux États-Unis en mission scientifique par le Ministre de l'Instruction publique en 1878, je suis retourné dans ce pays en 1891, tant j'avais été frappé par les progrès accomplis en géologie par les grands services publics américains. Après dix mois de courses en Amérique (1), j'étais jugé par mes confrères américains, comme l'un des

(1) The geological map of the United States, Cambridge 1892, p. 44.

géologues les mieux préparés à la description des terrains paléozoïques de leur pays ; je fus choisi comme Associé par les Éditeurs du grand « Journal of Geology » de l'Université de Chicago (1893 à 1904), appelé au Conseil de l' « International Quarterly » de New-York, nommé membre correspondant de l'Académie de Philadelphie (1878), et membre honoraire de l'Académie des Sciences de New-York (1889).

Les connaissances acquises au cours de ces voyages m'ont mis à même de comparer les faunes et les structures des régions paléozoïques d'Amérique avec celles d'Europe [38, 95]; j'ai pu préciser les notions sur le synchronisme de divers étages primaires et sur la répartition géographique aux époques les plus reculées de divers genres et espèces.

VI. — Bretagne

La détermination exacte de l'âge des couches, quoique plutôt monotone et toujours délicate, a été, de ma part, l'objet de recherches très minutieuses. C'est en effet de l'exactitude de cette détermination que dépend la valeur des conclusions paléontologiques et tectoniques. On ne peut retracer les transformations de la vie à la surface du globe, si on n'en connaît pas positivement la succession ; on ne peut écrire l'histoire des dénivellations de la croûte terrestre, cîmes montagneuses ou dépressions océaniques, ni interpréter leur genèse, si l'on n'a pas devant les yeux l'ordre de tous les événements dont elles ont enregistré la suite [23, 24, 48, 57, 60, 64, 69, 79, 81, 86, 89, 94, 98, 99, 108].

Terrain carbonifère. — L'étage des ardoises de Châteaulin fournit une preuve de ces affirmations. La ressemblance de ces ardoises avec celles d'Angers les avait fait rapporter au Silurien, c'est-à-dire à la base de la série paléozoïque locale; cet étage ardoisier fut ensuite ballotté du Silurien au Dévonien : ces errements rendaient inintelligible la structure tectonique d'ensemble de la Bretagne. En établissant par la paléontologie et la stratigraphie, l'âge carbonifère des ardoises de Châteaulin et leur place au sommet de la série locale, j'ai trouvé le moyen de reconnaître *les noyaux synclinaux* du massif breton et par suite d'en tracer les lignes directrices. Les notions admises auparavant sur l'extension régionale des mers où

s'étaient formés les dépôts paléozoïques de l'Ouest, étaient du même coup modifiées.

Terrain dévonien. — Avant mes études, on ne connaissait dans le Dévonien de l'Ouest de la Bretagne que sa division inférieure, celle du calcaire de Néhou (Coblentzien). Mes déterminations paléontologiques m'ont permis d'en distinguer le calcaire de Rosan et de le classer dans l'Ordovicien, celui de Chaudefonds, dans le Dévonien moyen, celui de Porsguen, dans l'Eifélien, celui de Traouliors, dans le Frasnien, celui de Rostellec, dans le Famennien; j'ai décrit également l'étage des grès de Plougastel, et fait connaître ainsi l'existence de la série dévonienne tout entière.

Ces observations ont fait abandonner l'idée ancienne que l'Ouest de la France était émergé lors du Dévonien supérieur; en effet, c'est à cette époque qu'il faut attribuer les dépôts pélagiques à céphalopodes et à brachiopodes; c'est alors que les conditions physiques ont le moins changé dans le Finistère, si l'on en juge par la constance des caractères lithologiques, de l'époque de Porsguen à celle de Rostellec. L'étude des faunes m'a amené à rattacher le Dévonien breton à une province pélagique, s'étendant en Europe de la Bretagne aux vallées de la Moselle, de la Lahn et au Harz, et distincte de celle de l'Ardenne, dont M. Gosselet a établi les caractères littoraux.

Le tracé des affleurements dévoniens m'a montré qu'ils étaient limités en Bretagne, à des noyaux synclinaux, à des témoins épargnés par les dénudations et alignés suivant trois fossés, ouverts à l'époque carbonifère : celui de Brest à Laval, celui d'Angers et celui d'Ancenis. Leur gisement est d'accord avec leur faune, pour les faire considérer comme des lambeaux, actuellement morcelés, de formations primitivement étendues sur de grandes surfaces de ce pays.

La mer peu profonde en Bretagne, au début de l'époque dévonienne, n'a déposé alors que des grès et des schistes grossiers. Plus tard, des lentilles calcaires apparaisssent à divers niveaux de l'étage Coblentzien : ce sont des calcaires construits, coralliens, ou des calcaires à crinoïdes et brachiopodes. La mer s'approfondit à l'époque eifélienne, où dominent les calcaires noduleux à brachiopodes et rares céphalopodes, et ses eaux envahissent le bassin d'Ancenis. Enfin le Dévonien supérieur (souvent

enlevé par les dénudations) est uniformément représenté par des formations minces, pélagiques, à ptéropodes et céphalopodes. Ainsi la mer recouvrit la Bretagne tout entière au cours de la période dévonienne, en augmentant graduellement de profondeur, du début à la fin de la période, en étendant progressivement son rivage méridional (139), jusqu'en deçà de la ligne synclinale de Chantonnay (Vendée) (129).

Un étage, celui du calcaire d'Erbray [95], a fait l'objet d'une monographie spéciale; et ce mémoire ne passa pas inaperçu en Allemagne dans les controverses relatives à la question hercynienne, auxquelles participèrent tous les spécialistes de ce pays. Le calcaire d'Erbray avait été précédemment, d'un avis unanime, considéré comme silurien. On le rangea d'une façon absolue dans le Dévonien inférieur à la suite de mon travail, où j'indiquai les relations de sa faune avec celle du Coblentzien de Néhou (61 espèces communes), et prouvai son identité avec l'Hercynien du Harz. Les 200 espèces que j'énumérai à ce niveau et que je figurai pour la plupart, ont permis à M. Œhlert de reconnaître cette faune aux environs d'Angers, et de préciser davantage sa place dans cette même série dévonienne inférieure, où je l'avais rangé sans le secours d'observations stratigraphiques, impossibles à faire aux environs d'Erbray.

Terrain gothlandien. — L'existence du Silurien supérieur était à peine soupçonnée en Bretagne; je fis connaître son extension dans la région, sa division en quatre niveaux distincts, les variations de ces niveaux et leur régression sur l'Ordovicien [48.151]. Absente au nord du pays, cette formation présente ses caractères typiques dans le bassin du centre, pour revêtir des aspects métamorphiques spéciaux, et acquérir un grand développement dans les cantons méridionaux.

Terrain ordovicien. — Les assises ordoviciennes ont présenté d'importantes différences de faciès, auparavant méconnues, dans les divers bassins; j'y ai établi des divisions, et précisé leurs positions respectives.

Une des assises ordoviciennes les plus remarquables en France est celle du grès armoricain [105], qui forme en Bretagne et en Normandie des crêtes allongées d'un pittoresque tout particulier; la position du grès armoricain dans la série était cependant indéterminée, puisqu'il n'y avait sous lui aucun membre que l'on pût identifier par ses fossiles. Dans le grès même, on n'avait encore signalé que quelques formes problématiques

quand je fis connaître les caractères des mollusques trouvés à ce niveau, après des années de recherches, par MM. Lebesconte et Davy. Les principaux types de lamellibranches, dont les 45 espèces furent décrites ou figurées, concordent pour assigner le grès armoricain à l'Ordovicien (Arenig); si on mesure, en effet, l'importance des types génériques par le nombre des espèces qu'ils renferment, on voit que les plus importants sont *Actinodonta* et les *Ctenodonta*, si répandus dans l'Ordovicien du Canada, et les *Redonia*, habitants de la zone centrale d'Europe.

Terrain Cambrien. — Ce terrain n'offre pas en Bretagne le grand développement que M. Œhlert lui a reconnu dans le Maine. Privé de fossiles, il est représenté par des schistes pourprés et des poudingues; en stratification discordante au N. du pays, sur les formations plus anciennes, il les suit en concordance dans les bassins du centre et manque dans ceux du Sud, où le grès armoricain s'avance transgressivement comme au Nord du massif, sur les terrains pré-cambriens [109, 120, 115].

Au Nord, dans le bassin de Paimpol, il présente des caractères spéciaux et une série d'épisodes sédimentaires et éruptifs, auparavant méconnus, dont j'ai retracé l'histoire. Grâce à elle, il a été possible de délimiter cette ancienne province cambrienne. De même que j'avais montré dans le bassin carbonifère du Finistère la continuation du bassin de Laval, de même, il ressort aujourd'hui de mes contours, que, le massif de Paimpol appartient à une zone synclinale continue, passant par Jersey et le nord du Cotentin. La comparaison de ces zones allongées, entre elles et avec leurs voisines montre, non seulement qu'elles correspondent à des plis du sol, mais encore à des bandes homozoïques de l'époque des dépôts, bandes caractérisées par des conditions bathymétriques particulières comme par la succession et la parenté des roches éruptives et intrusives qu'on y observe.

A mesure qu'avance la publication de la carte de Bretagne, on voit ressortir plus nettement la structure rayée de son sol, suivant de longues bandes parallèles: et la notion de ces dépressions synclinales continues est venue graduellement remplacer la conception ancienne des bassins indépendants.

Terrains Pré-cambriens. — Ces terrains nous ont conservé l'histoire des premiers sédiments et des premières éruptions volcaniques de la région. Leur ensemble, dont la puissance atteint approximativement

3 kil., renferme de grands enseignements sur le rôle et l'étendue illimités du métamorphisme de contact en profondeur; la marche du métamorphisme est inégale parmi ces niveaux, dont certains termes passent parfois à des roches schisto-cristallines [99]. J'y ai distingué diverses assises superposées, définies par leurs caractères lithologiques. Cette distinction n'a pas été sans conséquences pour la géologie générale : elle a entraîné cette constatation qu'à ces époques reculées, il se formait déjà simultanément en Bretagne des sédiments variés, indices de faciès différents, parallèles dans trois massifs distincts, ceux de Tréguier, de Douarnenez et de la Basse-Loire [97,120]. Elle a montré de plus que le dépôt de ces assises ne s'était pas effectué dans les mêmes conditions, car on retrouve dans les assises supérieures à l'état de galets (Poudingue de Gourin [108]) des débris des assises inférieures.

Transgression des mers paléozoïques. — Les terrains sédimentaires de la Bretagne forment un faisceau de couches redressées, parallèles, apparemment concordantes entre elles, mais cette apparence est trompeuse, car elles sont séparées par diverses discordances. J'ai retrouvé suivant la côte septentrionale du pays, *où elle est limitée*, la discordance cambrienne signalée par Hébert en Normandie; j'ai de plus reconnu, entre les étages, de nombreuses transgressions. La plus importante sépare le Dévonien du Carbonifère, et les affleurements de cette époque débordent, sur mes cartes, ceux de l'époque précédente. D'autres transgressions générales séparent le Silurien du Dévonien, le Gothlandien de l'Ordovicien, l'Ordovicien du Cambrien, et le Cambrien du Pré-Cambrien; elles sont suffisamment mises en lumière par l'examen des cartes publiées.

Continuité des aires de sédimentation. — Les plissements du sol ont considérablement modifié la figure des affleurements paléozoïques dans l'ouest de l'Europe, et transformé les bassins en d'étroites bandes allongées sur de grandes étendues. Parfois cependant on a pu reconnaître la continuité primitive des bassins de sédimentation. Ainsi, les longues bandes dévoniennes de l'Ardenne se reconnaissent dans la région de Bristol, et c'est précisément leur continuité qui a permis de retrouver dans l'intervalle, en même temps qu'elle l'expliquait, le développement du bassin houiller franco-belge. Les bassins dévoniens

de Bretagne, au contraire, présentent moins de traits communs avec ceux de l'Ardenne et du Devonshire ; mais la comparaison de leurs faunes m'a montré que ces bandes offraient un maximum d'analogies avec celles du Nassau et du Harz, et l'on peut ainsi en induire quelques indications sur la composition du sous-sol paléozoïque du bassin parisien.

VII. — Bassin houiller du Nord

Ce bassin, qui produit annuellement les 2/3 de la houille française, est naturellement le terrain le plus étudié par les professeurs de l'Université de Lille, celui sur lequel ils sont consultés le plus souvent, même par les exploitants, pour la détermination des échantillons et la recherche du prolongement des veines. A l'occasion de ces recherches pratiques, j'ai décrit dans le Houiller du Pas-de-Calais une faune marine, qui m'a permis d'identifier ce niveau au *Gannister-bed* d'Angleterre [2].

L'étude du poudingue de Nœux [148] avec galets de phtanite à radiolaires (*Cenosphaera*, *Lithocyclia*) m'a appris comment la dépression houillère s'était comblée lentement en déplaçant ses bords, de telle sorte que les dépôts les plus anciens étaient remaniés au nord-est, pendant que les plus récents, formés à leurs dépens, s'étendaient transgressivement au sud-ouest. C'était une confirmation, par une voie nouvelle, d'une théorie générale exposée pour la première fois par M. Potier.

La détermination de fossiles gothlandiens et gédinniens [134, 138], fournis par une série de sondages profonds, a montré que les *roches bleuâtres*, rencontrées dans les concessions de Liévin, Nœux, Drocourt, l'Escarpelle, n'appartenaient pas, comme on l'avait cru, au Carbonifère, ni au lambeau de poussée, mais à un paquet, en place, de la crête du Condros, en couches régulières et non renversées, ce qui constitue une donnée pratique nouvelle, utile pour les sondeurs.

La présence de Spirorbes à Bruay, Aniche [157], et leur vaste répartition, reconnue par M. Zeiller, dans les toits des veines du bassin, m'a amené à préciser les conditions de dépôt de ces lits, remplis de si belles empreintes végétales, par la considération des conditions d'habitat des Annélides épiphytes. On doit ainsi admettre nécessairement la formation autochtone de ces lits, les fougères des toits auraient

vécu à la place même où on les retrouve. Cette notion s'accorde bien avec le résultat d'observations que je poursuis en ce moment sur la continuité de plusieurs bancs marins, dont le dépôt doit être envisagé comme l'un des épisodes les plus généraux de ce bassin houiller, et par conséquent d'une importance capitale pour les plans des exploitants.

§ 2. — PALÉONTOLOGIE

Nul ne peut devenir paléontologiste, s'il n'est, avant tout, naturaliste. Je me suis préparé aux recherches paléontologiques par des études de zoologie pure : formation de collections zoologiques, — analyses de mémoires zoologiques étrangers, publiées dans les revues spéciales, — traduction de traités didactiques, — recherches personnelles sur l'Embryologie des Éponges. Un mémoire sur ce sujet spécial fut même soutenu par moi, avec succès, comme thèse inaugurale de Doctorat, à la Sorbonne, en 1876 [22].

C'est cependant au point de vue documentaire, et comme fournissant les bases les plus sûres aux recherches de géologie, que j'ai poursuivi mes études paléontologiques. Contrairement à un usage trop répandu qui limite l'emploi des fossiles, à l'indication de quelques noms de mollusques, échinodermes ou crustacés, choisis comme caractéristiques, j'ai tenu dans mes travaux à citer toutes les espèces rencontrées au cours de mes excursions géologiques, et à mettre en œuvre tous les matériaux recueillis. J'ai ainsi décrit et figuré un grand nombre d'invertébrés appartenant aux classes les plus variées des terrains crétacés et paléozoïques, et j'ai pu contribuer notamment à faire connaître les faunes anciennes de la France [5, 10, 28, 39, 42, 50, 55, 59, 62, 76, 77, 78, 95, 105, 112], leurs caractères, leur répartition et le développement phylogénique de diverses formes.

Les descriptions de Trilobites, Phyllocarides, Céphalopodes, Gastéropodes, Crinoïdes, recueillis dans des régions diverses, ont fourni des résultats de cet ordre, connaissance de formes nouvelles, passages organiques entre types distincts, répartition géographique des espèces.

Les travaux classiques de M. Albert Gaudry nous avaient apris les enchaînements des êtres : c'est en suivant la voie tracée par cet éminent maître, que j'ai apporté mon tribut à l'histoire de la vie, en montrant par de nouveaux exemples la filiation des animaux fossiles dans le temps, en traçant leur répartition et leurs migrations dans les anciennes mers. Enfin, l'étude raisonnée des faunes a permis de discuter les conditions physiques dans lesquelles les dépôts se sont effectués pendant les époques paléozoïques en France et en Espagne.

I. — Faunes paléozoïques

Un rapide coup d'œil sur quelques-uns des groupes zoologiques considérés, montrera comment j'ai pu faire ressortir des caractères d'ensemble, indépendamment des services que l'étude de ces groupes a pu rendre à la stratigraphie.

Coralliaires. — C'est un résultat de ce genre que m'a fourni le parallèle des Coralliaires dévoniens et carbonifères [95, 55]. Les espèces dévoniennes de Coralliaires présentent des caractères locaux, dévoilés par des formes spécifiques et génériques nouvelles, tandis que les formes coralliennes carbonifères présentent une plus grande constance sur toute la terre. Dans le Carbonifère prédominent les Rugueux à columelle ; le développement tardif de la columelle dans la série phylogénique est d'accord avec les observations ontogéniques, établissant que les cloisons naissaient chez l'embryon, avant la muraille, avant la columelle. Le genre dévonien *Acervularia*, si souvent discuté, est un précurseur synthétique des formes carbonifères, par la différenciation de son calice en zones concentriques, dues à des combinaisons des septa et des dissépiments.

Spongiaires. — L'attribution à une famille américaine de spongiaires, (*Dictyosponges*) peu connue en Europe, des curieux fossiles en forme de corbeille, qui forment des bancs entiers dans les psammites du Condroz [62], n'a pas été seulement une question d'intérêt local, elle a quelque portée pour l'histoire de la classe. L'apparition, dans le Carbonifère des Asturies, des *Pharetrones*, groupe si développé dans les terrains secondaires, est un fait de même ordre [55]; comme aussi la

déconverte, dans le Silurien de Bretagne (105), du genre *Discophyllum*, de la famille des *Archæocyathinæ*.

Bryozoaires. — Certains calcaires dévoniens d'Espagne sont formés uniquement de Bryozoaires, comme des tuffeaux de Touraine [55]. Ces beaux gisements ont permis de reconnaitre que nombre de *Fenestellidæ* précédemment décrites n'étaient que des fossiles incomplets, dépourvus de leur couche externe, mince, fragile, d'une décomposition rapide, reconnaissable par exemple sur le genre *Hemitrypa*. A l'époque carbonifère, les Fenestellides m'ont présenté une récurrence de certains caractères des formes du Silurien supérieur.

Brachiopodes. — 112 espèces en Espagne [55], 90 en Bretagne [78, 95], ont été décrites et pour la plupart figurées : leur comparaison avec celles des régions classiques a montré que le développement de nouvelles variétés dérivées du type principal s'est fait d'une façon inégale. Ainsi les *Athyris* du Dévonien inférieur et les *Spirifer ostiolati* de cette époque montrent la plasticité de ces formes dans la région espagnole ; par contre, les *Spirifer aperturati*, si variés dans les Ardennes, ne présentent que des formes fixes dans les Asturies. Le groupe des *Wilsonia* fournit une observation analogue. La considération des formes spécifiques a permis de compléter l'arbre généalogique de divers genres, *Rhynchonella*, *Spirifer*, etc., *Athyris* avec ses deux branches des *acutiplicatæ* et des *cinctæ*, la première passant à la seconde, dans le temps, et celle-ci aux *Retzia*.

Lamellibranches. — Les espèces paléozoiques des Asturies [55] sont nouvelles pour la plupart, et les genres les mieux représentés dans ces temps anciens sont les moins différenciés. Certains de mes genres ont eu une fortune brillante, tel le genre *Gosseletia*, où l'on range aujourd'hui une foule d'espèces d'Allemagne et des États-Unis (travaux de MM. Follmann, Maurer, Holzapfel, Frech, Hall).

Les lamellibranches du grès armoricain [105], quoique relativement assez évolués, appartiennent encore à des groupes embryonnaires, tels que *Arcidæ*, *Nuculidæ* ; les deux tiers des espèces reconnues se rangent dans ces familles. Les Taxodontes, par leur nombre et leurs variétés, doivent donc être considérés dans l'ouest de la France comme les types ancestraux des autres ordres de lamellibranches, et comme donnant des

passages à chacun des autres. Les lamellibranches de cette époque ancienne sont caractérisés par la simplicité de leur ornementation ; ce n'est que dans le Silurien supérieur que se développent les formes ornées des *Cardiolidæ* et des *Præcardidæ* qui donnent le passage des *Asiphonida* aux *Siphonida*. Cette faune armoricaine a encore montré que les coquilles étaient caractérisées par la longueur de la ligne cardinale : il n'y avait pas encore alors de forme à ligne cardinale raccourcie, différenciée en une charnière courte sous le crochet. Enfin, tous les types sont équivalves, l'inéquivalvie ne débutant que plus tard pendant l'Ordovicien, avec les *Cypricardinia* et *Aviculides*.

Céphalopodes. — Les goniatites des marbres griottes des Pyrénées [141] m'ont offert dans les diverses parties de la chaîne, tantôt les caractères du Dévonien supérieur, tantôt ceux du Carbonifère inférieur : le passage entre ces terrains correspond donc dans la région pyrénéenne à des dépôts pélagiques, à l'inverse de ce qui se passait alors au Nord de la France.

De nouvelles indications sur la répartition géographique des goniatites caractéristiques des zones allemandes ont été fournies [139] par nos déterminations de Céphalopodes dévoniens des Ardennes.

II. — Faunes primordiales

Les couches fossilifères les plus anciennes, celles où l'homme doit rechercher les premières manifestations de la vie à la surface du globe, possèdent pour le paléontologiste un attrait puissant. L'espoir d'étendre nos connaissances sur ces époques reculées m'avait déterminé à visiter les gisements classiques de l'Angleterre, de l'Espagne, des États-Unis, du Canada et du Nouveau-Brunswick. Grâce aux connaissances ainsi acquises, j'ai découvert quelques nouveaux gisements de la faune primordiale dans les Asturies et la Galice, gisements remarquables par la prédominance des trilobites, et j'en ai décrit plusieurs espèces nouvelles [55]. Cette faune m'a encore échappé, il est vrai, en Bretagne, mais j'ai découvert dans les couches plus anciennes de Saint-Lô, à Morlaix, Saint-Thurial, des débris de crinoïdes [117] ; à Plestin, des débris, que j'ai figurés, analogues aux Eozoons du Canada [93] ; à Lamballe, dans des phtanites,

des formes singulières [108], à coup sûr remarquables, rapportées par M. Cayeux aux Radiolaires, très discutées par certains savants, mais acceptées par un grand nombre des membres du VIII[e] Congrès géologique international, qui les virent à Paris en 1900, lors de cette session. Ce sont les plus anciennes formes vivantes connues sur la terre.

III. — Déterminations Paléontologiques

La détermination des invertébrés paléozoïques français est particulièrement délicate, en raison de leur état de conservation médiocre, et en l'absence de mémoires fondamentaux analogues à ceux que d'Orbigny, Deshayes, ont consacrés à la description des formes de terrains plus récents. Aussi, leur étude est-elle assez négligée chez nous, et divers savants français (Ardennes, Bretagne, Pyrénées), ou étrangers (Angleterre, Belgique, Espagne), intéressés à ces études, se sont adressés à moi, comme à un spécialiste, pour la détermination de leurs échantillons [46, 78, 91]. En dehors des listes dressées par mes soins, et publiées dans les mémoires de ces savants, j'ai signalé l'existence de la faune eifélienne dans le Languedoc, et figuré plusieurs types nouveaux, communiqués par M. de Rouville [76]. La Haute-Garonne a aussi fourni une faune infra-dévonienne, réunie par M. Gourdon et dont les caractères si spéciaux ont été retracés par plusieurs planches [50, 53, 59, 67, 77, 92]. Les environs de Barcelone, explorés par M. le chanoine J. Almera, m'ont fourni les éléments de la description de six faunes siluriennes distinctes, nouvelles pour la Catalogne, et ces découvertes ne sont pas sans portée pour la géographie zoologique de cette époque (104, 105, 137, 149). J'ai constaté dans les Pyrénées l'existence d'un groupe de *Lichas* de Scandinavie (*Trochurus*), et indiqué en 1887, dans la Montagne Noire, à M. de Rouville, la présence du groupe *Dikelocephalus* du Wisconsin, et depuis celle d'autres formes (156) des étages de Tremadoc et d'Arenig, d'Angleterre et de Scandinavie.

Un des résultats généraux de ces déterminations fut d'établir la vaste répartition, auparavant méconnue, de cinq faunes différentes, de la série silurienne anglaise ; ainsi le niveau de Caradoc, à *Cystidées* et *Orthis Actoniæ*, reconnu en Bretagne [79], dans l'Hérault [90], les Pyrénées

[59, 77], et jusque dans la Catalogne [104], est venu apporter un point de repère précis et un terme commun aux bassins siluriens du nord et du sud de l'Europe, qui étaient attribués, depuis les grands travaux de Barrande, à deux provinces zoologiques séparées.

Ces conclusions relatives à la plus grande uniformité des faunes siluriennes du nord et du sud de l'Europe, reçurent une éclatante confirmation de l'examen que je fis de l'ordre des graptolites. Nous savons grâce à ces déterminations, que la réapparition de sédiments analogues, a suffi, à l'époque silurienne, pour permettre le développement, dans les bassins les plus éloignés de l'Europe occidentale, de faunes ayant entre elles de nombreuses espèces communes.

IV. — Graptolites de France

L'étude des graptolites [106, 112] avait été délaissée en France, et cette lacune était d'autant plus regrettable que les savants scandinaves et anglais fondaient leurs récentes classifications stratigraphiques sur la répartition de ces fossiles : les zones graptolitiques se trouvaient être constantes des États-Unis à l'Angleterre et à la Scandinavie, c'est-à-dire dans l'aire septentrionale de notre hémisphère. Il ne semblait pas en être de même au midi de l'Europe. On ne connaissait, avec Barrande, qu'une seule faune graptolitique en Bohême, et ces fossiles étaient peu connus dans le sud de l'Europe, où les niveaux étaient principalement caractérisés par des trilobites.

Après avoir réuni des collections de graptolites des divers massifs français, où ces formes avaient été signalées (Languedoc, Pyrénées, Ardennes, Normandie, Bretagne), j'en dressai des listes critiques et reconnus, en même temps qu'un petit nombre d'espèces nouvelles, l'existence de cinq niveaux graptolitiques distincts, comparables à ceux des pays du Nord. J'ai prouvé que les zones graptolitiques du Nord de l'Europe, se suivent en France, de la Bretagne aux Pyrénées.

Le genre *Monograptus*, le plus riche et le plus important des genres français, a présenté des sections caractéristiques de niveaux déterminés. Les genres *Rastrites* et *Cyrtograptus* sont limités aux mêmes zones en France qu'en Angleterre. Chez nous les *Dichograptidæ* caractérisent l'Or-

dovicien, comme les *Monograptidæ* le Silurien supérieur ; parmi eux, les *Tetragraptus, Dichograptus*, appartiennent à la base de l'Ordovicien, un groupe de *Didymograptus* est limité à l'Arenig, un autre au Llandeilo. Les *Phyllograptidæ* sont limités à l'Arenig français ; par contre les *Diplograptidæ* sont remarquables par une répartition verticale beaucoup plus étendue.

Espagne : Les graptolites recueillis par M. le Chanoine J. Almera, en Catalogne, m'ont permis [149] de reconnaître l'existence dans cette partie de l'Espagne, des quatre étages graptolitiques, distingués dans le Gothlandien par les savants anglais. Leur concordance avec les étages indiqués en France, confirme nos notions sur la vaste extension des mers gothlandiennes à l'ouest de l'Europe. L'étendue de ces eaux tranquilles devait nécessairement être suffisante pour permettre la dissémination, de l'Espagne à l'Angleterre, à l'abri d'apports clastiques continentaux, de colonies libres de graptolites et de leurs gonozoïdes errants.

§ 3. — PÉTROGRAPHIE

Dans l'étude des roches, je me suis aidé des méthodes précises, basées sur les caractères optiques des minéraux en lames minces, que les travaux de MM. Fouqué et Michel-Lévy ont mis à la disposition des géologues. J'ai fait connaître les caractères microscopiques de diverses roches sédimentaires, éruptives, intrusives et métamorphiques, et cherché à interpréter les conditions de leur formation.

Les causes qui présidèrent à la répartition de plusieurs de ces roches sédimentaires et éruptives ont été fixées ; l'existence d'anciens volcans a été reconnue en Bretagne ; les notions sur l'âge et le mode d'apparition des granites bretons ont été transformées par l'étude de leurs phénomènes de contact, et la portée de ces observations pour la théorie du métamorphisme général a été indiquée.

I. — Roches sédimentaires

L'observation des dépôts qui s'accumulent actuellement sur les côtes de Bretagne, montre la formation contemporaine de sédiments très variés,

d'origine détritique, chimique et organique; j'ai pu expliquer logiquement la répartition de ces différents sédiments, dans ces mers littorales, par l'action combinée des courants marins et des courants fluviaux. C'est une première illustration précise de l'application, de courants déterminés, à l'interprétation géologique de faciès synchroniques [126]; elle n'a été rendue possible que grâce aux recherches fondamentales de M. Bouquet de la Grye sur le régime hydrographique de nos côtes.

J'ai fait une autre application de ces principes aux plages soulevées, que j'avais découvertes en Bretagne, et qui sont si remarquables par le mélange de galets étrangers disséminés à l'époque quaternaire sur ces côtes par les glaçons flottants. La limite de leur extension au sud s'explique par la neutralisation des courants littoraux qui ont donné naissance à la levée de Penthièvre [26, 56 et 126].

Les conditions organiques et physiques dans lesquelles se sont déposées les roches sédimentaires des Asturies (calcaires, schistes, grès), ont été révélées par la détermination microscopique de leurs éléments constituants et par la distinction et l'élimination des caractères secondaires [52, 55], qui les rendent souvent méconnaissables.

II. — Roches éruptives

L'étude microscopique des roches éruptives paléozoïques, qui constituent d'innombrables filons en Espagne et en Bretagne, a permis de les faire rentrer pour la première fois dans le cadre des classifications modernes. Parmi tant de filons, certaines roches ont fourni des caractères assez particuliers pour constituer des groupes lithologiques nouveaux (Kersantites récentes); les autres ont montré des particularités de gisement et de structure telles, qu'il a fallu cesser de les considérer comme filoniennes, et que leur origine volcanique est devenue évidente. Ainsi j'ai découvert et reconstitué les plus anciens volcans de France.

Volcans carbonifères: Le début du Carbonifère fut une période d'activité volcanique, dont j'ai indiqué les témoins dans le Finistère, sous forme de coulées et de tufs de porphyres (blavierite), de diabases et de porphyrites interstratifiés à la base de ce terrain. J'ai en outre rapporté à cette époque et tracé sur la carte de nombreux filons de diabase ophitique, on les compte

par centaines : la dénudation n'a rien épargné de leurs immenses coulées, mais les fentes qui leur livrèrent passage demeurent, et leur disposition n'est pas abandonnée au hasard. Elles sont groupées en faisceaux rayonnants, et leur répartition suit une loi, celle de leur localisation aux failles de décrochement qui déformèrent les grandes rides à la fin du Carbonifère inférieur [113]. Enfin c'est dans les dykes lamprophyriques (kersantons et minettes) qu'il faut voir les dernières manifestations de l'activité interne dans cette province.

Volcans siluriens du Menez-Hom (Finistère) [100] : Les premières manifestations de l'activité volcanique de ce massif se traduisirent par la sortie tranquille et l'écoulement, sur de vastes étendues du fond de mer ordovicien, de laves basiques très fluides (diabases à olivine, diabases sans olivine, diabases ophitiques, porphyrites augitiques). Ces émissions sous-marines de produits en fusion se répétèrent fréquemment pendant l'Ordovicien ; la fin de cette époque correspond à une phase de paroxysme volcanique, et la profondeur de la mer se trouva fort réduite en la région par l'abondance de projections aériennes, bombes et lapilli, provenant de cheminées émergées, et qui s'accumulèrent dans des eaux devenues littorales.

La répartition des coulées et des débris a permis de conclure que les venues qui se sont succédé lentement dans cette région, ont dû faire leur apparition par des bouches et cheminées distinctes, alignées approximativement suivant une aire allongée de 50 kilomètres et sur une largeur de 5 kilomètres.

Un autre volcan contemporain, mais dont les produits furent plus variés, se trouvait dans la Basse-Loire. Ses manifestations se continuèrent avec plus d'évidence pendant l'époque gothlandienne, où des couches arénacées, des tufs à blocs projetés, alternent avec des sédiments plus profonds, phtanites et ampélites à graptolites, déposés dans des mers largement ouvertes.

Volcans cambriens : J'ai pu rapporter à des manifestations volcaniques successives, filons, coulées et projections, l'important massif de roches cristallines exposé dans la contrée de Paimpol ; leur âge cambrien a été établi, ainsi que leurs relations complexes avec les couches sédimentaires de cette époque. Les plus anciennes venues ont fourni des porphyrites à

pyroxène, avec des coulées de verres porphyritiques et des projections de tufs, riches en cornaline. A ces roches basiques, succèdent plusieurs sorties successives d'orthophyre, dont les filons se coupent et se disloquent ; puis viennent les grands épanchements des rhyolites anciennes, microgranulites, micropegmatites, porphyres pétrociliceux et fluidaux. Plus tard, des filons nombreux de diabases ophitiques, puis de porphyrites micacées vinrent traverser les roches de cette série.

Reconstituer des volcans en démolition depuis les temps cambriens, est une tache malaisée mais non pas impossible. Ecrasés lors des mouvements séculaires du ridement carbonifère, et depuis en partie enlevés, ces volcans Trégorrois n'offrent plus à l'observateur d'autres produits effusifs conservés, que ceux qui ont été ensevelis dans les dépressions synclinales. Ces fosses, au nombre de deux, sont parallèles entre elles (fosses synclinales de Plourivo, de Paimpol) : elles sont limitées et séparées par des voûtes convexes, et les roches rencontrées suivant ces directions anticlinales ne sont plus effusives, comme dans les synclinaux : elles gisent en filons, ce sont des roches intrusives.

Ainsi j'ai montré que dans les aires anticlinales, on retrouvait les racines profondes filoniennes d'anciens volcans, tandis que dans les aires synclinales les débris de leurs émissions étaient conservés à l'abri des dénudations : l'effet de ces érosions a été de séparer les filons des coulées, et de détruire les appareils de sortie, cheminées et cratères. Toutefois l'examen comparatif des roches intrusives et des roches effusives de ces massifs révèle entre elles des analogies et des différences, qui permettent dans la plupart des cas de rattacher avec une approximation suffisante les coulées, à leurs filons nourriciers : je suis arrivé de la sorte à les grouper en deux champs volcaniques distincts (Pontrieux, Perros-Guirec) [136, 140, 141, 145].

L'ensemble de ces produits appartient à une même série chimique, caractérisée par la pauvreté en Ca O, la richesse relative en K^2 O et Na^2 O, et dont les variations sont graduelles ; les orthophyres les plus acides du champ méridional correspondent aux roches les moins acides de l'aire volcanique septentrionale. Les manifestations volcaniques les plus anciennes de la région ont débuté par les termes les plus basiques, et ceux-ci sont cantonnés au sud du bassin sédimentaire ; les éruptions suivantes devin-

rent graduellement plus acides, et leurs points de sortie se concentrent au Nord du bassin.

La particularité la plus suggestive peut-être de ce massif réside dans l'association, aux roches volcaniques effusives, de roches intrusives granitiques. Un granite à amphibole et biotite, de composition moyenne uniforme, a fait intrusion dans la région à des périodes successives; et, à ces différentes périodes, le magna granitique a évolué dans des limites assez étendues, des diorites aux porphyres acides. Il a évolué de telle sorte, qu'une même masse granitique peut montrer des termes grenus, avec contacts métamorphiques, des termes bréchoïdes, ou enfin des termes porphyriques, avec contacts non métamorphisés, selon la profondeur de la tranche horizontale, mise en affleurement, par les dénudations.

La généralisation de ces vues à d'autre massifs m'a permis de rapporter à des roches granitiques d'âge carbonifère, la plupart des gneiss réputés primitifs de Bretagne, et de les considérer comme de simples modifications feuilletées de ces mêmes granites, consolidés dans des conditions spéciales, à de plus grandes profondeurs et sous de plus fortes pressions [142]. Les magmas granitiques offrent alors une grande propension à s'injecter en lits dans les sédiments anciens, et ils passent aux gneiss granulitiques définis par M. Michel-Lévy.

Volcans précambriens du Trégorrois (93, 100, 109). Le pays de Tréguier m'a fait voir, de Pontrieux à Lannion et à Lanmeur, les plus anciennes régions volcaniques qui aient été jusqu'ici signalées en France et même dans le monde, puisqu'on en retrouve des roches remaniées, à l'état de galets, dans les poudingues du Cambrien : elles présentent ainsi un intérêt exceptionnel pour l'histoire du volcanisme dans les temps géologiques. Les principaux produits, diabases, porphyrites, variolites, en filons et en nappes dans les schistes précambriens, ne se distinguent des roches plus récentes que par leur degré d'altération, et par leurs modifications métamorphiques qui les font passer à des épidiorites, à des schistes amphiboliques, à des amphibolites, à des diorites gneissiques, c'est-à-dire à des roches schisto-cristallines.

III. — Roches intrusives

J'ai étudié les roches intrusives, dont le granite est le type, dans les Asturies et en Bretagne, décrivant leurs auréoles métamorphiques, et m'efforçant d'acquérir quelques notions sur leur genèse, en partant de l'observation [55, 70, 80, 89, 113].

Granites. — Quand je débutai, on admettait l'existence dans ces régions, de deux venues granitiques, l'une préambrienne, celle des granites, l'autre dévonienne, celle des granulites. Ces notions sont modifiées. Il est établi, depuis mes travaux, que toute venue granitique de quelque âge qu'elle soit, offre des phénomènes granulitiques, qui lui sont propres, et que la mise en place des venues granitiques s'est espacée en France, depuis l'époque primitive jusqu'à l'époque carbonifère, pendant toute la durée des temps paléozoïques. J'en ai distingué 3 séries successives sur la Carte de France. Ces granites constituent un certain nombre de massifs indépendants, également distincts par leur nature minéralogique, leurs apophyses et leurs modifications endomorphiques ; leurs masses ont une tendance générale à s'aligner suivant les axes des plis anticlinaux dont ils forment ainsi le noyau : leur affleurement actuel n'est pas originel mais dû à des dénudations postérieures ; les granites sont donc formés par des roches de profondeur.

Les massifs granitiques de Bretagne, les plus importants par leur masse comme par leur nombre, sont sans contredit ceux de l'époque carbonifère ; ils s'espacent suivant huit lignes principales, groupées en deux faisceaux obliques l'un par rapport à l'autre. Leur répartition topographique et la forme de leurs affleurements sont en relation avec la structure générale du sol. C'est une donnée nouvelle de la stratigraphie. J'ai indiqué la nature de ces relations : au Nord du pays, les lignes tectoniques sont dirigées au Nord-Est, et il en est de même des ellipses granitiques ; au Sud, les lignes tectoniques sont dirigées Sud-Est et les ellipses granitiques également. Au Nord, les plis sont moins dénudés et les contours des affleurements granitiques tendent à s'arrondir ; au Sud, où les plis sont serrés, les contours s'allongent. A la rencontre des deux régions, les plis se croisent et les ellipses granitiques alignées Sud-Est deviennent des chevrons, allongés vers le Nord-Est.

Cette disposition lobée, à contours piriformes, des derniers massifs granitiques, poussant du faisceau sud des apophyses orientées comme les venues du faisceau nord, nous révèle la continuité en profondeur du réservoir granitique du Midi avec celui du Nord. Quand l'érosion superficielle aura progressé suffisamment, les affleurements granitiques du Midi s'anastomoseront à la surface avec ceux du Nord, par les lobes piriformes, orientés comme eux.

Cependant, malgré l'importance de ce réservoir, les grandes lignes structurales du pays et le plan général de sa tectonique n'ont pas été altérés par la pénétration du granite : les étroites rayures sédimentaires, les longs plis et les failles rectilignes qui les affectent dans la région orientale formée de sédiments paléozoïques, se poursuivent sans interruption ni complication, à l'Ouest du pays, dans sa portion granitique : on n'y trouve ni dislocations spéciales, ni structures plus complexes, aucun indice qui laisse supposer que les débris de la croûte disloquée aient flotté sur le bain granitique profond.

La distinction des granites anciens (Perros, St-Brieuc), remaniés à divers niveaux et subissant passivement les mouvements orogéniques, des granites plus récents (Quintin, Moncontour), dont l'intrusion est postérieure au ridement carbonifère, a eu des conséquences générales. Elle a montré que la mise en place du granite dans certains districts paléozoïques s'est faite doucement, par assimilation des éléments des salbandes, et finalement par substitution, de telle sorte que la figure des affleurements peut n'être pas déformée par son intrusion ; le granite a pris alors tranquillement la place de certaines masses, sans déranger les voisines (Callac, Rostrenen). Enfin, la comparaison de ces massifs entre eux a révélé des inégalités dans l'assimilation des couches sédimentaires au contact ; tandis qu'elle est totale dans certains cas (Quintin Moncontour), elle est incomplète ailleurs, de telle sorte que certains lits de quartzite (Bécherel, Huelgoat), de phtanite (Guérande), interstratifiés dans les schistes, se laissent suivre, à l'intérieur des massifs intrusifs, plus loin que les autres lits auxquels ils étaient associés. L'assimilation des encaissements par le granite, souvent indiquée, mais toujours combattue, a trouvé ici une preuve ; elle montre que cette assimilation est *fonction des conditions différentes de*

profondeur et de pression, et qu'elle est en *relation avec la composition chimique* des strates affectées.

Diorites, gabbros [109, 120]. — Ces conclusions se trouvent étendues par l'étude des masses intrusives de diorites (St-Brieuc) et de gabbros (Lamballe), où des faits de même ordre ont été observés. Ces masses doivent leurs caractères à d'intéressantes modifications endomorphes ; elles se chargent d'amphibole et de pyroxène, au contact des roches basiques précambriennes, au milieu desquelles elles ont troué tranquillement leur place, par dissolution lente des alentours, en épargnant parfois les seuls bancs graphitiques (Lamballe), intercalés parmi les précédents. Les diverses roches basiques observées au contact des masses intrusives sont transformées en gneiss amphiboliques ; leur affleurement conserve tantôt la forme de bancs continus, tantôt celle de brèches à blocs anguleux alignés, brisés, séparés mais non déplacés, ou encore la forme d'enclaves disloquées ou disséminées montrant que les caractères basiques des intrusions doivent être attribués à la résorption des roches amphiboliques traversées.

Roches filoniennes : La Rade de Brest est particulièrement favorable à l'étude de ces roches, Kersantons, minettes, aplites et diabases, dont j'ai fixé les relations réciproques et l'âge carbonifère (154). Elles se montrent cantonnées aux régions synclinales de ma carte (Daoulas, L'Hôpital, Le Faou) et représentent les termes polaires de différenciation d'autres roches granitiques, gisant en réservoirs souterrains sous la rade de Brest, et n'arrivant au jour que plus à l'est, dans le massif du Huelgoat, situé sur leur prolongement.

Le Kersanton (82) m'a fourni des types dont le bisilicate est tantôt l'amphibole et tantôt le pyroxène. Les filons de cette nature se distinguent des filons ordinaires par leur structure composite : ils se sont consolidés lentement sous l'influence de phénomènes pneumatolitiques longuement poursuivis, qui ont donné naissance à des gîtes métallifères, et à des roches concrétionnées de plus en plus acides, riches en éléments blancs du magma acide (porphyrites micacées, Kersantons, pegmatites et aplites Kersantiques). Ce n'est qu'après la consolidation de cette dernière série, que les minettes arrivèrent dans les fentes des Kersantons, aussi basiques et riches en éléments ferro-magnésiens que les porphyrites micacées des

premières salbandes, dont elles se distinguent principalement par leur richesse en K^2O. Il semble bien ici, conformément à la théorie de M. Michel-Lévy, que la circulation des minéralisateurs ait séparé du magma ferro-magnésien du Kersanton, l'excès d'alcalis, d'alumine et de silice, et l'ait entraîné dans des fentes de contraction des parties consolidées pour former les pegmatites et aplites Kersantiques, en laissant comme résidu les éléments des minettes. L'action combinée de l'eau, de l'acide carbonique, et des composés sulfurés des fumerolles a déterminé l'accumulation de la pyrrhotite nickelifère et de la calcite dans les premières amygdales; des circulations postérieures d'eaux thermales ont développé pyrite, fluorine, calcite et quarz dans les dernières cavités formées.

Cette venue lamprophyrique des kersantons est postérieure à la consolidation de l'aplite porphyrique de la Rade de Brest, qu'elle coupe en filons, et qui m'a présenté la particularité de développer dans les schistes au contact cordiérite, pléonaste, corindon, et feldspaths.

Kersantites quartzifères récentes [49, 55] : Sous ce nom, j'ai distingué des granites avec lesquels on les a parfois confondues, des roches massives remarquables, qui firent leur apparition dans les Asturies à l'époque des grandes dislocations pyrénéennes, entre l'Eocène et le Miocène. Elles présentent la composition fondamentale des Kersantites anciennes et offrent des phénomènes métamorphiques spéciaux, ainsi qu'une assez grande variété de structures lithologiques.

IV. — Roches métamorphiques

M. Michel Lévy avait cherché à démontrer que le métamorphisme de contact donnait la clef des phénomènes de transformation dus au métamorphisme général et en même temps expliquait la genèse des roches cristallophylliennes aux dépens de dépôts clastiques d'âge divers. J'ai apporté des faits précis à l'appui de cette théorie, capitale pour l'histoire de la terre, puisqu'elle vise à en expliquer les phases les plus anciennes et les plus énigmatiques.

Ces faits sont de deux ordres.

Des sédiments paléozoïques déterminés, dont l'âge a pu être fixé en Bretagne, donnent naissance dans les auréoles de contact à des roches

caractéristiques : les calcaires siluriens de St-Jacut ont donné des cipolins et passent aux pyroxénites [87] ; les calcaires dévoniens marneux de Morlaix, donnent des amphibolites [81] ; ceux de Plélauff, des éclogites [70] ; les grès siluriens du Guéméné, des leptynites [63]; les phtanites précambriens, des quartzites graphitiques [108].

J'ai montré en second lieu, que le métamorphisme des grands massifs de gneiss granulitique s'était fait d'une façon *progressive* et *inégale*. Tandis, en effet, que certains faisceaux de schistes perdent leurs caractères propres pour passer à des schistes granitiques et à des gneiss, il arrive que des lits interstratifiés dans ces séries, tels que phtanites, poudingues, résistent plus longtemps à cette transformation et restent reconnaissables en tant que roches clastiques, dans une série gneissifiée [116, 120] : les quarzites paléozoïques de Landerneau, les phtanites de Lamballe, les poudingues de Cesson, constituent les meilleurs exemples [99].

La conclusion légitime de ces observations est que ces massifs gneissiques doivent leur origine à la pénétration profonde des magmas granitiques, comme divers schistes doivent au contact du granite, les éléments granitiques, développés après coup, qu'on y reconnait. L'intercalation, lit par lit, des tourmalines, qui remplissent les grès siluriens tourmalinisés de Nozay, au contact des granulites, a fourni un exemple original et une confirmation indépendante de ces pénétrations minérales intimes [121].

Roches archéennes : En outre de ces études, qui éclairent le mode de production des roches schisto-cristallines, j'ai fait connaitre leurs relations stratigraphiques propres, leur succession en Andalousie, en Galice et en Bretagne ; j'ai décrit leur composition, leur structure, leurs déformations mécaniques, ainsi que de nombreuses variétés minéralogiques, caractérisées par le développement de la glaucophane [60], du chloritoïde [65], de l'allanite [81], du disthène, et des wernérites ; j'ai montré que les unes avaient une origine sédimentaire [116], et les autres une origine éruptive [156], rangeant parmi ces dernières, comme des formations homologues, provenant d'un même magma initial, les termes les plus aberrants de l'archéen breton, les diorites-micacées-gneissiques du Nord et les glaucophanites du Midi.

§ 4. — TECTONIQUE

La connaissance des terrains, de leur composition et de leur succession permet d'aborder les problèmes de la tectonique, problèmes complexes, dont la solution a un but élevé puisqu'elle doit nous dévoiler l'évolution du globe terrestre même, et nous expliquer en même temps les grands traits de la géographie. Trois régions m'ont fourni des documents, d'une façon indépendante ; et le groupement des faits observés donne des indications nouvelles sur le mode de formation du rivage atlantique, en montrant l'homologie des grands océans actuels avec l' « avant-pays » des hautes chaînes montagneuses.

1. — Bassin du Hampshire.

Mes études [11, 20, 33], ont fait connaître les ondulations de la Craie du bassin du Hampshire, au sud de l'Angleterre, et démontré leur continuité avec les lignes anticlinales du bassin de Paris, tracées par Hébert. J'ai signalé d'une façon plus précise les relations de position de ces lignes axiales avec les accidents de l'époque carbonifère, indiquées déjà par Godwin-Austen et je les ai étendues à l'époque silurienne.

Les rapports de l'axe de l'Artois et de la grande faille primaire du Condroz ne sont pas seulement dus à ce que ces accidents anciens deviennent les lignes de moindre résistance du sol. Il y a des relations plus générales entre les accidents successifs qui ont affecté cette région : les mouvements du sol qui les ont déterminés se sont effectués de la même façon et dans les mêmes directions aux différentes époques ; il s'est produit dans la région naturelle comprise entre le Hampshire et la Belgique, trois refoulements successifs du sud vers le nord, après le dépôt du Silurien, après le Houiller, et pendant l'Eocène. Toutefois ce n'est que quinze ans après la publication de ce travail, et entre les mains de M. Marcel Bertrand que ces observations complétées et mieux établies, devaient acquérir toute leur portée.

Depuis en explorant le bord méridional du massif breton, j'ai reconnu [129] que l'ouverture de failles mésozoïques avait suivi le tracé des failles plus anciennes, et cette constatation apporte un nouveau témoignage en faveur de ces vues.

II. — Chaine Cantabrique

Situés vers les extrémités de la chaine des Pyrénées, les monts Cantabriques [55] offrent une complication peu commune, que j'ai rapportée à la déviation des lignes directrices des Pyrénées et à leur raccordement avec celles de la Meseta espagnole. L'analyse de tous les détails de structure m'a permis d'en saisir quelques traits. Les Monts Cantabriques doivent leur origine à deux puissantes pressions latérales successives ; la première, développée dans la direction des parallèles, se produisit entre le Houiller et le Permien ; la seconde, agissant suivant les méridiens, eut lieu entre l'Éocène et le Miocène. Le premier ridement fut précédé de nombreux mouvements de bascule, E.-O. ; le second fut de même précédé de mouvements oscillatoires, N.-S., fournissant ainsi respectivement de nouveaux exemples de ce fait général que dans les régions montagneuses, les mêmes mouvements du sol tendent à se répéter aux différentes époques.

La constatation de ce fait rend plus frappante encore l'apparente anomalie qui existe entre cette région et la plupart des autres (Monts Hercyniens, Appalaches), où toutes les pressions latérales s'opérèrent dans une même direction constante, au lieu de se succéder, comme dans les Asturies, dans deux directions perpendiculaires entre elles. Mais cette anomalie apparente des mouvements du sol cantabrique peut être interprétée de façon à rentrer dans la règle commune. On peut, en effet, noter que les deux ridements principaux, dont on retrouve la trace dans les montagnes des Asturies, ont été tous deux déterminés par des pressions latérales, venant du côté des monts qui faisait face à la plus grande mer, à l'époque où ces pressions se produisirent.

Si, négligeant les dernières dislocations, on s'élève au-dessus des conclusions locales qui précèdent, pour considérer l'ensemble du mouvement primordial, on voit les grands traits de la Péninsule Ibérique s'esquisser dès l'époque carbonifère. Ils sont déterminés par la courbure dans les Monts Cantabriques des lignes directrices des Pyrénées ; et la comparaison des lignes tectoniques de la Bretagne fera plus loin ressortir l'unité de plan qui a réglé la structure des deux grandes péninsules occidentales d'Europe, l'Espagne et la Bretagne, et posé ces bornes à l'Atlantique.

III. — Andalousie

J'ai fait partie, en 1884, de la mission envoyée par l'Académie des Sciences, en Andalousie, sous la direction de M. Fouqué, à la suite des tremblements de terre : j'ai été chargé d'étudier particulièrement, en collaboration avec M. Offret, la Sierra Nevada et la Sierra Tejeda, c'est-à-dire la chaîne Bétique. La Sierra Nevada se distingue par sa structure de la plupart des montagnes : c'est un énorme monolithe de schistes cristallins à andalousite, staurotide, grenat, feldspaths, en couches presque horizontales, qui se dresse comme d'un seul jet jusqu'à plus de 3000^m de hauteur : elle constitue une voûte surbaissée sur les flancs de laquelle les terrains triasiques, très plissés, se sont trouvés écrasés. L'allure des faisceaux schisto-cristallins de la chaîne Bétique montre de plus que la région a été affectée par une série de grandes cassures transverses, accompagnées de rejets horizontaux et que la partie ployée de la chaîne, située à la limite des Sierras Tejeda et Nevada, correspond topographiquement à l'épicentre du tremblement de terre.

IV. — Presqu'île Armoricaine

La presqu'île Armoricaine, sorte d'avancée de l'Europe dans l'Atlantique, occupe sur ce continent une situation remarquable. J'ai prouvé que sa position isolée et sa forme propre, si spéciales, loin d'être l'œuvre d'érosions littorales, résultaient, dans leurs grands traits, de sa structure tectonique. La Bretagne a surgi telle que nous la voyons à l'époque carbonifère, et les érosions qui en ont abaissé les reliefs, n'ont fait que régulariser ses contours, loin de les défigurer. Les abrasions atlantiques ont suivi les lignes directrices de la contrée, au lieu de les couper transversalement, comme on le croyait.

Depuis la publication, par la carte géologique de la France au 1/1.000.000, des premiers résultats de mes recherches sur la Bretagne, on sait qu'à la notion antérieurement acceptée, d'une presqu'île armoricaine constituée par deux grands plateaux et par deux bassins indépendants, doit être substituée celle d'une région comprenant une série nombreuse de petits plis très étroits, à peu près parallèles entre eux, et indéfiniment

allongés de l'est à l'ouest. Mais le parallélisme de ces ondes n'est qu'approximatif : leurs lignes directrices forment des séries qui vont converger au large du Finistère, de telle sorte que le triangle armoricain, avec sa base en Europe et son sommet en mer, doit à la fois son existence à des ridements de l'époque carbonifère, et sa forme à leur convergence. Le contour actuel des côtes bretonnes est en relation directe avec les lignes orogéniques de l'époque paléozoïque.

Cette notion positive paraît prendre une valeur plus haute, quand on la rapproche des données, esquissées ci-dessus, sur la tectonique des monts Cantabriques, car elle montre que les deux caps Finistère, d'Espagne et de France, correspondent respectivement aux points de rencontre de deux systèmes de lignes directrices, ou plutôt, à des déviations brusques de plis carbonifères, suivant une ligne brisée. Ainsi se trouvent expliqués, pour la première fois, la cause, l'âge et la figure des contours occidentaux du continent Européen. Le groupement de ces plis carbonifères forme une chaîne cotière continue, dont j'ai tracé les tronçons, de la Cornouaille anglaise à la Normandie, la Bretagne, les monts Cantabriques ; cette chaîne, en ruines, est en relation génétique avec la formation de la dépression océanique, qu'elle limite et dont elle dépend. On reconnaît ainsi comme l'un des traits fondamentaux de l'orogénie de l'Europe, que les lignes directrices carbonifères sont déviées en approchant des rivages atlantiques : elles se plient, se tendent, et les arcs ainsi engendrés présentent leurs courbures du côté de l'océan, à la façon des chaînes plus modernes qui entourent le Pacifique.

En indiquant dans cette *ligne brisée* l'homologue, sur notre bord continental, de la *chaîne droite* des Appalaches américains, on dévoile un des grands traits de structure de la dépression atlantique, dont la connexion avec les ridements carbonifères est ainsi mise en évidence.

Si les grandes lignes commencent à apparaître, les détails de la structure du massif breton sont encore insuffisamment connus ; leur étude m'a toutefois fourni des données générales. Pour les mettre en relief, il a fallu reconstruire par induction les reploiements des couches, dans un pays de plaines où toutes les voûtes ont été rasées par les dénudations, et où les seuls débris des systèmes montagneux nous sont conservés, isolés et comme ensevelis, dans d'étroites gorges concaves. Ces gorges qui abritent les strates paléo-

zoïques les plus récentes du pays, sont uniformément caractérisées par leur profondeur, leur exiguïté et la dissymétrie de leurs bords : ce ne sont pas des bassins de sédimentation et j'ai pu rattacher à un système très simple de failles longitudinales la dissymétrie générale des plis du sol breton. Parfois les failles sont nombreuses dans un même pli, et les strates qui le composent se trouvent alors débitées uniformément en tranches parallèles, de telle sorte qu'il s'est produit un effondrement des tranches médianes, tandis que les autres, abandonnées en arrière pendant le mouvement d'affaissement, furent plus tard balayées par les dénudations.

Enfin l'étude des grandes rayures du sol armoricain m'a fourni un second élément de coordination, en me révélant l'existence d'ondulations transverses, continues, obliques aux premières. Pendant que le pays se ridait à l'époque carbonifère, des sillons se constituaient à la base de l'écorce, suivant les principaux anticlinaux : dans ces sillons, le magma granitique s'est élevé inégalement, suivant la conductibilité maxima et la composition chimique des roches traversées, formant autant de traînées continues qu'il y a, à la surface, de chapelets d'ellipses granitiques. C'est principalement dans les failles, ouvertes suivant les synclinaux, que sont accumulées les roches filoniennes, produites par différenciation.

Ainsi la Bretagne nous apprend que les moyens mis en jeu dans la tectonique n'ont pas de manifestations identiques dans tous les massifs montagneux. Mais si les formes engendrées varient dans leur figure, elles ne varient pas dans leur but, qui est unique et immuable, celui de réduire la surface et le volume des édifices montagneux superficiels, incapables de s'accommoder des fosses étroites où la contraction du globe tend sans cesse à les resserrer. Tout se réduit en somme, dans la tectonique bretonne, à des compressions et à des déplacements, à des pressions tangentielles et à des transports latéraux, sous l'action de la contraction du globe, cause des injections profondes, et sous le contrôle de la dénudation superficielle.

V. — Applications géographiques

La structure tectonique du sol exerce une influence notable que j'ai mise en relief, sur la forme générale des contrées étudiées ; elle m'a de plus donné l'explication de divers traits géographiques du bassin de la

Manche et de la Bretagne, tels que, répartition des îles, des lacs, des cultures, des habitants. Grâce aux études géologiques, l'évolution du système hydrographique de ces régions, le tracé général des cours d'eau, la cause de leur passage à travers les lignes d'escarpement et le creusement par les affluents de vallées longitudinales dans les couches tendres, ont été interprétés d'une façon rationnelle. Un même système hydrographique s'applique au sud de l'Angleterre et à la Bretagne, et la dépression de la Manche rentre naturellement dans ce réseau comme une ancienne vallée fluviale, ouverte par érosion.

En résumé, mes publications s'étendent à toute la série sédimentaire, des terrains modernes aux terrains primitifs, elles ont abordé l'étude des animaux fossiles et celle des roches cristallines : mes travaux se distinguent donc par un effort simultané dans les branches les plus diverses de la géologie. Grâce au mutuel appui que se prêtent la stratigraphie et la paléontologie, la pétrographie et la tectonique, grâce aux études comparatives que m'ont permises des voyages répétés dans bon nombre de contrées de l'Europe et de l'Amérique, ces publications offrent un intérêt général, et des multiples données de l'observation locale, tentent de s'élever à des conclusions synthétiques.

IMPRIMERIE LE BIGOT FRÈRES